

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra částí a mechanismů strojů

Univerzální mostový modul  
Universal Bridge Module

Student:	Jiří Čoupek
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Květoslav Kaláb Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra částí a mechanismů strojů

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Čoupek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení  
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin  
Téma: **Univerzální mostový modul**  
**Universal Bridge Module**

Zásady pro vypracování:

Proved'te konstrukční návrh univerzálního mostového modulu pro uchopení a horizontální posuv výrobního zařízení o maximální hmotnosti 30 [kg] s maximální excentricitou 100 [mm]. Minimální rozměry příruby 200 x 200 [mm].

Nosný svařovaný rám mostu s nastavitelnou výškou 500 až 1500 [mm] je opatřen připevňovacími úchyty. Pracovní délka mostu je 1200 [mm]. Použijte průmyslové vodící tyče a linearity. Nakreslete sestavný výkres a dílenský výkres nosného rámu.

Seznam doporučené odborné literatury:

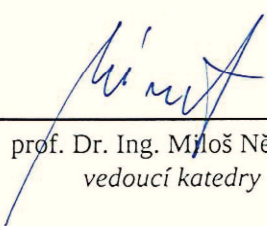
BOLEK, A., KOCHMAN, J. AKOL.: *Části strojů I*. Praha: SNTL, 1989. 776s. ISBN 80-03-0046-7.  
KALÁB K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 91s. ISBN 978-80-248-1290-8.  
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 72 s. ISBN 978-80-248-0878-9.  
SHIGLEY, J., E., MISCHKE CH., R., BUDYNAS R., G.: *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTUM, 2010. 1186 s. ISBN 978-80-214-2629-0.  
Vhodné katalogy.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

  
prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. května 2013

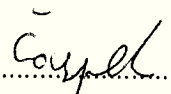
.....*Čoupek*.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. května 2013

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jiří Čoupek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Zikova 20/610, Olomouc



## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

ČOUPEK, J. Univerzální mostový modul: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2013, 40s. Vedoucí práce: Kaláb K.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem univerzálního mostového modulu. V úvodu práce je přehled příkladů použití modulů v praxi. Poté jsou rozvedena řešení pro jednotlivé části a vybrána řešení nejvíce vyhovující zadání. Dále je proveden technický popis celého zařízení. Jednotlivé části jsou v této kapitole rozebrány a je vyřešeno jejich technické provedení, aby vyhovělo požadavkům ze zadání. Výpočtový návrh a kontrola je provedena pro provozně důležité díly. Důležitými částmi pro kontrolu na mostovém modulu jsou vodící tyče na průhyb, pohybový šroub na axiální zatížení, šrouby pro připojení lože na rám a rám na průhyby. Práce obsahuje výkres sestavení a výrobní výkres navrženého mostového modulu.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

ČOUPEK, J. Universal Bridge Module: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2013, 49 p. Thesis head: Kaláb K.

Bachelor thesis deals with the design of a universal bridge module. In the introduction an overview of examples of the use of modules in practice is given. Then the solutions of individual parts are detailed and the most suitable solutions are chosen. In the next step the whole device is described. In this chapter the components are discussed and their technical design is solved to meet the requirements of the assignment. The computational design and control is performed for functionally important parts. The important parts of bridge module to check are guide rods, motion screw, screws for the connection of the base to frame and the frame. The guide rods, screws for the connection of the base to frame and the frame are checked for bend, the motion screw for the axial load. The work includes drawing of assembly and manufacturing drawings of proposed bridge module.

**Obsah:**

Seznam použitých symbolů a značek .....	7
ÚVOD .....	10
2 CÍLE PRÁCE .....	11
3 PŘÍKLADY POUŽITÍ MOSTOVÝCH MODUL .....	12
3.1 Tříosé obráběcí centrum pro obrábění dřeva .....	12
3.2 Brousící hranový automat .....	13
3.3 Jednoosý přímý modul ty EP .....	14
3.4 Mostová kotoučová pila .....	15
3.5 3D tiskárna .....	16
4 MOŽNÉ PROVEDENÍ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ .....	18
5 VÝBĚR ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ .....	21
5.1 Suport s přírubou .....	21
5.2 Vedení a jeho uložení .....	21
5.3 Uchycení na sloupové podpěry .....	21
5.4 Sloupy .....	22
5.5 Pohon .....	22
5.6 Motor s převodovkou .....	23
6 TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ .....	24
6.1 Rám .....	24
6.2 Lože .....	25
6.3 Suport .....	27
7 PEVNOSTNÍ VÝPOČTY .....	29
7.1 Návrh vodících tyčí .....	29
7.2 Kontrolní výpočet pohybového šroubu .....	33
7.3 Návrh motoru .....	36
7.4 Kontrola ložisek pro uchycení pohybového šroubu .....	36
7.5 Výpočet sil na šroubech a jejich návrh a kontrola pro uložení lože .....	38
7.6 Výpočet zatěžujících sil na rám a MKP výpočet průhybů .....	42
8 ZÁVĚR .....	47
9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	49
10 SEZNAM PŘÍLOH .....	50

**Seznam použitých symbolů a značek**

Symbol	Význam	Jednotka
$A_s$	nejmenší průřez šroubu	$mm^2$
$A_{sl}$	nejmenší průřez šroubu	$mm^2$
$A_x$	síla v horním šroubu lože	N
$A_{xy}$	výsledné zatížení v horním šroubu	N
$A_y$	síla v horním šroubu lože	N
$A_{yt}$	reakce ve vodící tyči	N
$A_z$	síla v horním šroubu lože	N
$A_{zt}$	reakce ve vodící tyči	N
$B_x$	síla v dolním šroubu lože	N
$B_{xy}$	výsledné zatížení v dolním šroubu	N
$B_z$	síla v dolním šroubu lože	N
$C$	základní dynamická únosnost ložiska	N
$C_x$	reakce v patě rámu	N
$C_y$	reakce v patě rámu	N
$C_z$	reakce v patě rámu	N
$D_T$	třecí průměr závitu	mm
$D_x$	návrhový průměr tyče	mm
$D_{yx}$	návrhový průměr tyče	mm
$D_1$	spodní průměr matice	mm
$E$	modul pružnosti v tahu	MPa
$F_a$	reakce v ložisku	N
$F_l$	síla od hmotnosti lože	N
$F_{Mx}$	síla v uchycení tyče	N
$F_{My}$	síla v uchycení tyče	N
$F_{Mz}$	síla v uchycení tyče	N
$F_{ol}$	síla potřebná k vytvoření tření v lože	N
$F_p$	síla od hmotnosti pohonu	N
$F_r$	reakce v ložisku	N
$F_{\check{r}}$	řezná síla	N
$F_t$	síla od hmotnosti tyče	N

$F_y$	síla od zatížení přídavného zatížení	N
$H_1$	výška společné plochy matice a šroubu	mm
$J_{min}$	kvadratický modul v průřezu	$mm^4$
$L$	délka tyče	mm
$M_{Cyz}$	moment v reakci paty rámu	$N \cdot mm$
$M_{Cyx}$	moment v reakci paty rámu	$N \cdot mm$
$M_o$	ohybový moment	$N \cdot mm$
$M_s$	celkový moment na šroubu	$N \cdot mm$
$M_T$	třecí moment na šroubu	$N \cdot mm$
$M_{TZ}$	třecí moment na závitu	$N \cdot mm$
$M_{TZl}$	třecí moment na závitu	$N \cdot mm$
$M_{-xy}$	moment před bodem od reakce na tyči	$N \cdot mm$
$M_{xy+}$	moment za bodem od reakce na tyči	$N \cdot mm$
$M_{-xz}$	moment před bodem od reakce na tyči	$N \cdot mm$
$M_{xz+}$	moment za bodem od reakce na tyči	$N \cdot mm$
$M_x$	moment na tyči	$N \cdot mm$
$M_y$	moment na tyči	$N \cdot mm$
$M_{zř}$	moment na tyči	$N \cdot mm$
$P$	rozteč závitu	mm
$P_h$	stoupání šroubovice závitu	mm
$P_{hl}$	stoupání šroubovice závitu	mm
$R_e$	mez kluzu v tahu	MPa
$R_{es}$	mez kluzu v tahu	MPa
$W$	modul průřezu šroubu	$mm^3$
$W_l$	modul průřezu šroubu	$mm^3$
$a_{skf}$	součinitel pro výpočet ložisek	-
$d$	průměr závitu	mm
$d_l$	průměr závitu	mm
$d_{1l}$	dolní průměr závitu	mm
$d_2$	střední průměr závitu	mm
$d_{2l}$	střední průměr závitu	mm
$d_3$	nejmenší průměr závitu	mm
$d_{3l}$	nejmenší průměr závitu	mm

$d_{3n}$	návrhový nejmenší průměr závitu	mm
$f_z$	tření	-
$f_l$	tření	-
$h_m$	výška matice	mm
$k$	bezpečnost tyčí	-
$k_s$	bezpečnost šroubu	-
$k_{sl}$	bezpečnost šroubu	-
$l_s$	délka šroubu	mm
$n$	počet tyčí	-
$n_i$	otáčky ložiska	$\text{min}^{-1}$
$n_s$	počet šroubu	-
$n_{\xi}$	počet šroubu	-
$v$	rychlost pohybu lože	$\text{m} \cdot \text{s}$
$w_{yF}$	průhyb tyčí	mm
$w_{zF}$	průhyb tyčí	mm
$w_{yMo}$	průhyb tyčí	mm
$w_{zMo}$	průhyb tyčí	mm
$\alpha$	úhel stoupání závitu	°
$\alpha_l$	úhel stoupání závitu	°
$\beta$	vliv neznámého krutu	-
$\gamma$	úhel stoupání závitu	°
$\gamma_l$	úhel stoupání závitu	°
$\kappa$	viskozitní poměr	
$\sigma_{ds}$	napětí ve šroubu	MPa
$\sigma_{dsl}$	napětí ve šroubu	MPa
$\sigma_{red}$	redukované napětí tyčí	MPa
$\sigma_{reds}$	redukované napětí šroubu	MPa
$\sigma_{redsl}$	redukované napětí šroubu	MPa
$\sigma_y$	Napětí v tyči	MPa
$\sigma_z$	napětí v tyči	MPa
$\tau_s$	smykové napětí	MPa
$\tau_{sl}$	smykové napětí	MPa
$\varphi'$	třecí redukovaný úhel	°
$\varphi'_l$	třecí redukovaný úhel	°

## ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem mostového modulu. Modul je navržen tak, aby jeho použití nebylo omezeno jen na určitou konkrétní aplikaci. Uložení modulu je tedy navrženo s dostatečnou tuhostí umožňující univerzální použití. Uložení splňuje podmínku pohybu v jedné ose, rovnoběžně s nosníkem. Nosník splňující požadavky na tuhost je umístěn na dvou oporách. Ty slouží k upevnění nosníku v místě použití tohoto zařízení. Podpory jsou navrženy tak, aby umožňovali určitou výškovou stavitelnost.

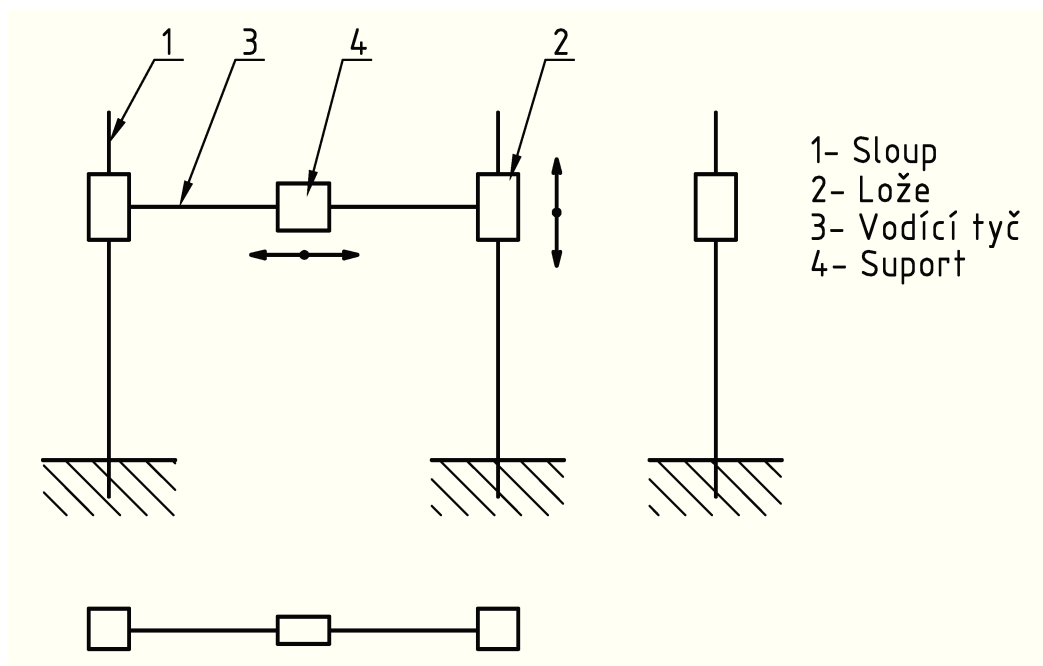
## **2 CÍLE PRÁCE**

S ohledem na splnění zadání bakalářské práce byly stanoveny následující dílčí cíle:

- provést přehled používaných modulů v praxi
- možné provedení jednotlivých částí
- výběr zvoleného řešení
- technický popis navrženého zařízení
- pevnostní výpočty

### 3 PŘÍKLADY POUŽITÍ MOSTOVÝCH MODULŮ

Mostové moduly se používají pro rozmanitá zařízení. V této kapitole je některé jejich praktické využití představeno.



Obr. 2.1 – Schéma mostového modulu

#### 3.1 Tříosé obráběcí centrum pro obrábění dřeva

Zařízení společnosti PILART s.r.o Sahos sprint je 3osé CNC obráběcí centrum pro obrábění dřeva. Umožňuje posuv v podélné ose po vodících kluzných kolejnicích. Po nich se pohybují masivní nohy podpírající příčný nosník. Celý tento suport se pohybuje pomocí vodících pohybových šroubů pro každou nohu jeden. Motorizace je provedena v uvnitř nohou nosníku. Po příčném nosníku se pohybuje modul. Je uložen ve dvou kolejových vedeních. Každá kolej je opatřena oboustranným tvarovým prvkem. Kolejové vedení je umístěno na nosníku ze strany upevnění modulu. Horizontální pohyb modulu je řešen pohybovým šroubem s motorizací umístěnou na modulu. Na tomto modulu je umístěna vertikálně se pohybující hlava umožňující upnutí různých obráběcích hlav. Modul i přídavné zařízení jsou napájeny kabely umístěnými na horní části ve vodícím pásovém plastovém ochranném obalu.





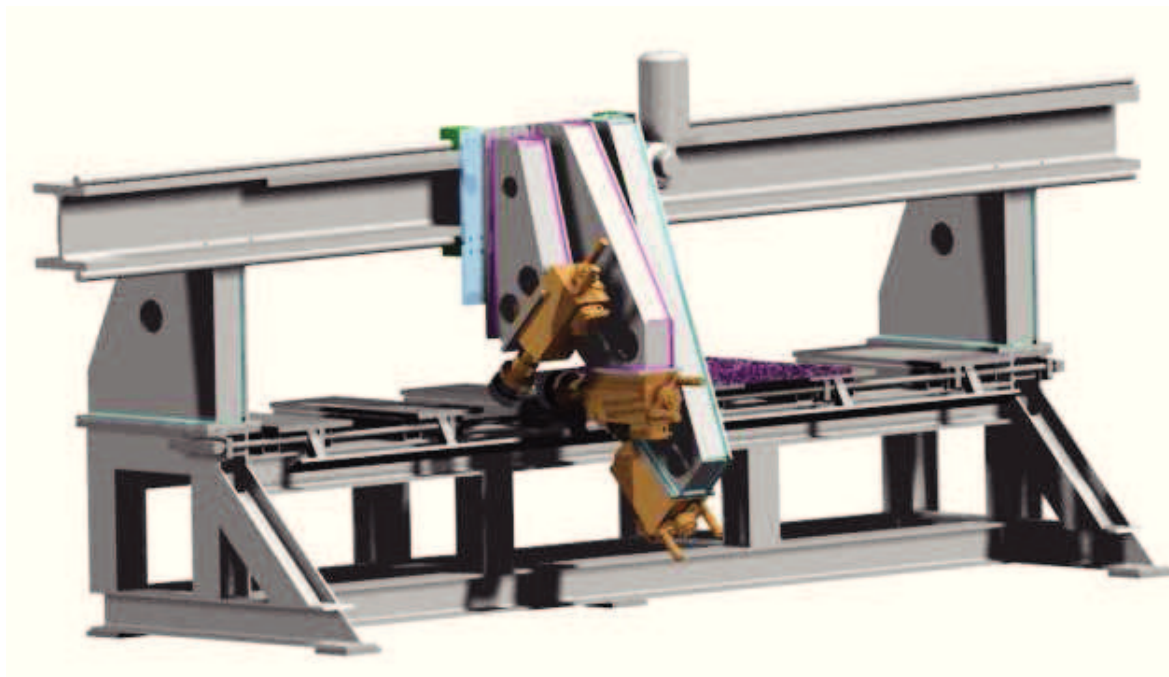
*Obr. 2.2 - Obráběcí centrum Sahos sprint [1]*



*Obr. 2.3 - Ukotvení a pohon modulu u obráběcího centra Sahos sprint [1]*

### **3.2 Brousící hranový automat**

Bruska KBBS 160 od firmy Kasper má masivní hlavní nosník. Ten je pevně ukotven ke stolu brusky. Na nosníku jsou uchyceny z horní a dolní strany vodící tyče. Pohyb modulu je řešen pomocí ozubeného hřebene. Ozubené kolo i s motorem je umístěno přímo na modulu. Další možnosti polohování jsou řešeny jako pevné tvarovky připojující se na modul, toto umožňuje brousit požadované úhly. Brusná vřetena jsou navíc stavitelná v horizontálním směru. Napájení modulu je řešeno pomocí kabeláže umístěné v horní zadní části nosníku. Tato řešení se používá pro stranové opracování kamenných desek.



*Obr. 2.4 - Brousící automat Kaspe KBBS 160 [2]*

### **3.3 Jednoosý přímý modul typ EP**

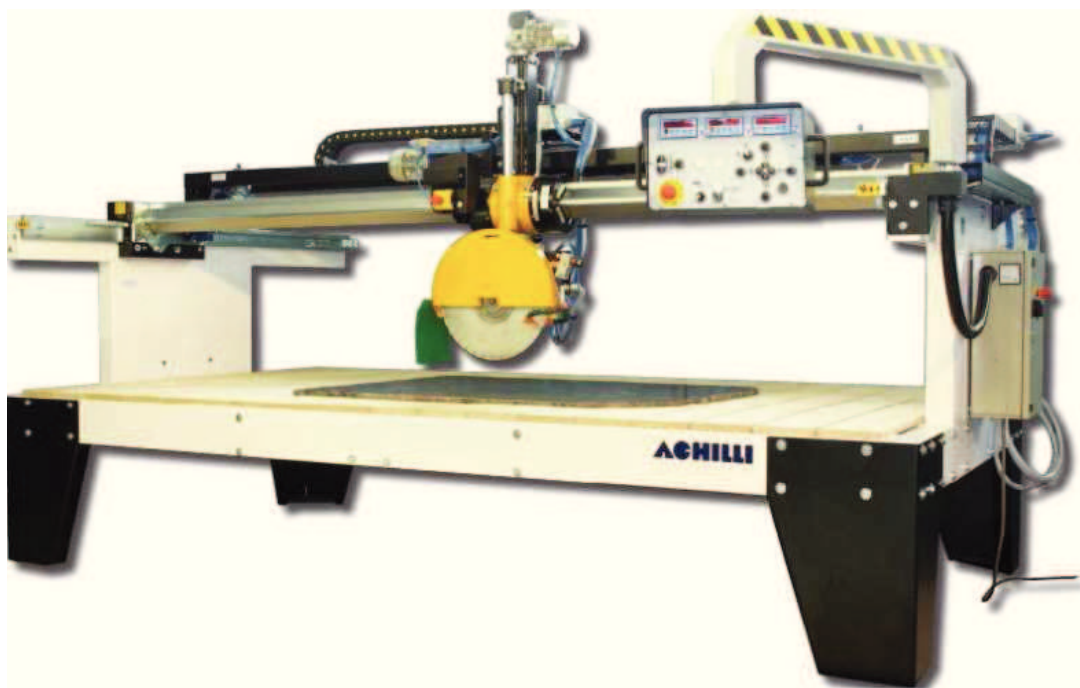
Firma Güdel vyrábí jednoosé přímé moduly z možností prodlužování. Hlavní těleso tvoří tvarovaný hliníkový profil. Je tvarován tak, aby se dle požadavků na něj dali umísťovat jednotlivé prvky zařízení. Nosník je uchycen na masivních nohou z obrácené strany, než je uchycen modul. Modul je uložen na dvou kolejnicích, kdy horní je ze spodní strany opatřena ozubeným hřebem, který slouží k posuvu modulu. Motorizace je umístěna na modulu. V krajních částech nosníku jsou umístěna dorazová čidla. Napájení modulu je řešeno z horní strany nosníku pomocí kabeláže umístěné v plastovém ochranném pásu.



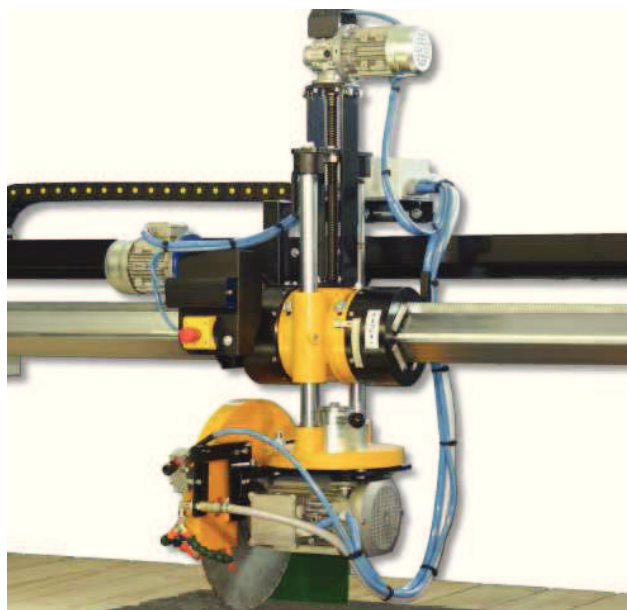
*Obr. 2.5 - Jednoosý přímý modul typ EP firmy Güdel [3]*

### 3.4 Mostová kotoučová pila

MBS 3000 je mostová 3-osá pila určená pro pravoúhlé řezání. Podélný posuv je řešen jako ze shora položený nosník na příčném posuvu. Pohyb je zajištěn z vnitřní strany přišroubovanou deskou opatřenou ozubením. Příčný nosník je tvořen hlavním 6 hraným nosníkem, na němž je z horní strany umístěný ozubený hřeben umožňující pohyb modulu. Modul je k nosníku připevněn pomocí kruhové objímky. Ta umožňuje ruční natočení pily. Pila se používá pro řezání žuly nebo mramoru.



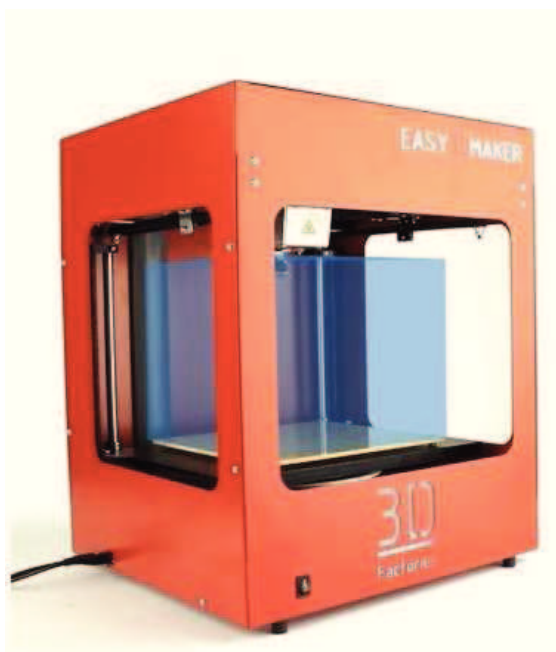
*Obr. 2.6 - Mostová kotoučová pila MBS 3000 [4]*



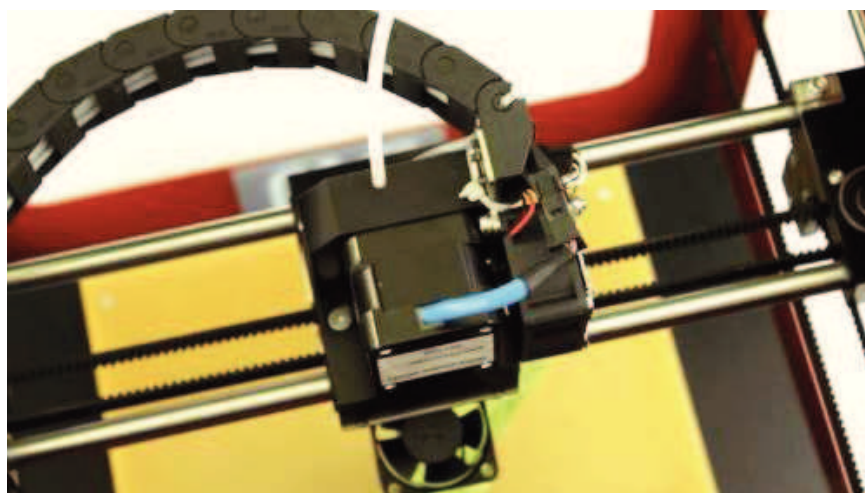
*Obr. 3.7 - Pohled na modul kotoučové pily MBS 3000 [4]*

### 3.5 3D tiskárna

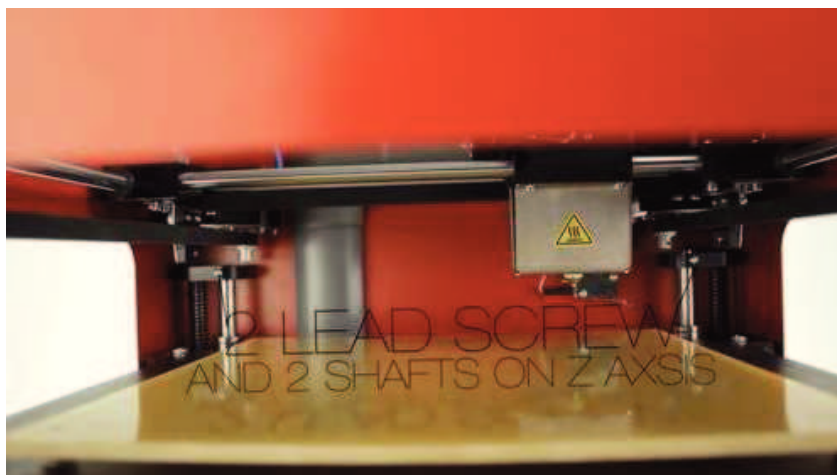
3D tiskárna EASY3DMAKER používá dva páry na sebe kolmých vodících tyčí. Jedna dvojice zajišťují podélný pohyb a druhá příčný pohyb tiskového modulu. Mezi nimi se pohybuje modul na kluzných ložiscích. Na modulu je umístěna tryska. Pohyb modulu je zajištěn ozubenými řemeny. Jednostranné uchycení řemene na modulu umožňuje pohyb, pokud je řemen motorizován na řetězovém kole. Pohyb v ose z, je vyřešen pomocí pohybových šroubu. 3D tiskárna se používá pro tvorbu menších součástí s plastu pro výrobu prototypu, nebo pro design návrhy.



*Obr. 3.8 - 3D tiskárna EASY3DMAKER [5]*



*Obr. 3.9 - Detailní pohled na modul na příčném posuvu [5]*



*Obr. 3.10 - Pohled na výškovou regulaci a podélný posuv [5]*

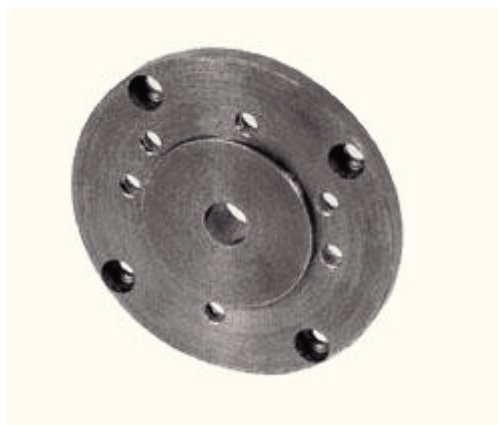


## 4 MOŽNÉ PROVEDENÍ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ

Z ohledu na splnění cílů práce byl prováděn výběr vhodných technických řešení. Volba bude provedena z již vyskytujících se řešení pro mostové moduly.

### Příruba

Příruba by měla plnit funkci opěrky pro přídavné zařízení a měli by na ní být úchyty pro jeho uchycení. Většina přírub plní tuto funkci pomocí rovné nebo mírně tvarované desky. Používá se deska kruhového, obdélníkového, čtvercového, výjimečně jiného tvaru. Použití desky kruhového tvaru je nutné v případě požadavku na natáčení přídavného zařízení. Existují i speciální úpravy pro konkrétní použití, ale ty nesplňují podmínku universálnosti.



*Obr. 3.1 – Příruba s dírami pro uchycovací šrouby [6]*

### Nosník

Jako nosný prvek se používá pro menší zatížení a rozměry samotných samonosných tyčí nebo speciálních profilů. Pokud ani jedno z předchozích provedení nevyhovuje lze zvýšit možnosti zatížení a délky vytvořením kombinace nosníku a vodících tyčí, kdy nosník tvoří hlavní nosnou část a tyče na něj připevněné tvoří pojezdovou část pro suport.



*Obr. 3.2 – Vedení pomocí kolejnic a rolen [7]*

## **Pohon suportu**

Pohyb suportu lze rozdělit dle tuhosti pomocí:

- pohybového šroubu a matice. Nejtužší vedení, používá se převážně u obráběcí techniky.
- ozubeného kola a hřebene. Tento způsob se používá u středních a dlouhých nosníků, protože není nutné uvádět do pohybu velké hmotnosti.
- ozubeného řemene. Velice flexibilní a lehké řešení nutno však napínat.



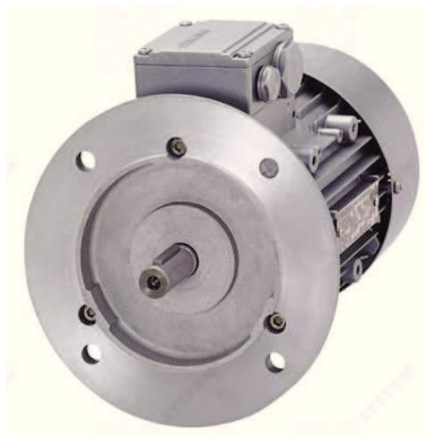
*Obr. 3.3 – Vodící šroub s kuličkovou maticí. [7]*

## **Sloupové podpěry**

Sloupové podpěry jsou nosníky namáhané na vzpěr a ohyb. Pro jednoduchost se tedy vyrábějí z vhodně natočených základních profilů U,I,O,□. Pro připojení se na koncích opatřují přírubami. Ty se na spodní straně připojí na základnu a na horní části v požadované výšce se na ně přichytí uchycení příčného nosníku.

## **Motor**

Základní pohonem pro zařízení je elektromotor s dostatečným výkonem pro posun suportu. Elektromotory se však vyrábí s příliš vysokými otáčkami pro přímý pohon suportu, proto je nutné vložení převodovky mezi motor a pohybové ustojí.



*Obr. 3.4 – Elektromotor s přírubou [9]*

## **Elektrické napájení**

Elektrické napájení je nutné pro pohon strojních zařízení, tedy i zařízení umístěných na suportu. Toto je realizováno pomocí kabelu v ochranném obalu, aby nedošlo k přenesení elektrického napětí na části stroje a tím ke zranění obsluhy. Po dobu životnosti stroje bude docházet vlivem posuvu suportu k zvýšenému namáhání přívodního kabelu ohybem. Toto namáhání se odstraňuje v průmyslu pomocí vodícího pásu s nastaveným minimálním poloměrem ohybu.



## 5 VÝBĚR ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ

Návrh součástí nejlépe plnících požadovanou funkci pro mostový modul. Kritéria splnění jsou dle jejich důležitosti:

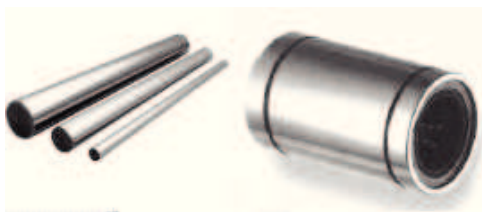
- Splnění zadaných parametrů
- Technické řešení
- Cena

### 5.1 Support s přírubou

Na zařízení je osazena příruba o rozměrech 200 x 200 *mm*. Tato příruba je obdélníkového tvaru s dírami pro přípojné šrouby v rozích. Je vyfrézována z větší desky, která tvoří na jedné straně přírubu a na druhé straně hlavní část supportu. Do příruby budou zašroubovány závrtné šrouby. Z druhé strany jsou na tuto desku přivařeny na kolmo 4 menší. Ty tvoří rám pro ložiska, po niž se pohybuje support ve vodících tyčích a na vnitřní je přišroubován vodící šroub. Ten support pohaní. Toto řešení příruby je zvoleno pro jeho vhodné hmotnostní parametry a jednoduchost výroby.

### 5.2 Vedení a jeho uložení

Vedení bude tvořeno pomocí dvou kruhových vodících tyčí umístěných nad sebou. Po nich se bude pohybovat suport na ložiscích. Tyče budou po stranách uchyceny v domcích. Tyče, domky a ložiska odebíráám od společnosti TEA jako montážní komplet.



*Obr. 4.1- Tyče vedení a ložiskové pouzdro firmy T.E.A. TECHNIK s.r.o. [7]*

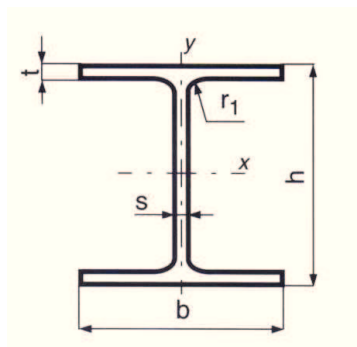
### 5.3 Uchycení na sloupové podpěry

Uchycení je provedeno pomocí základové desky. Ta je z jedné strany přišroubována ke sloupům vedení a z druhé strany jsou na ni šrouby přichyceny domky pro vodící tyče.

Na obou základových deskách je umístěno uchycení ložiska pro vodící šroub. To je tvořeno pomocí svařovaných desek. Na jedné straně ještě doplněno o konstrukci, na kterou se bude šroubovat motor.

## 5.4 Sloupy

Sloupy jsou tvořeny válcovanými profily HEM. Na těchto profilech je ze strany připojení suportu umístěno lože pro uchycení suportu. Z této strany jsou umístěny otvory pro uchycení lože pomocí šroubů. Díry pro šrouby jsou vrtány v rozteči  $100\text{ mm}$ . Toto zaručuje dostatečný rozsah posuvů. Pro větší univerzálnost lze sloupy na přání zákazníka doplnit o další otvory s menší roztečí. Ze spodní strany jsou sloupy přivařeny k základovým deskám. Základové desky jsou pomocí šroubů přišroubovány do podlahy v místě provozu zařízení.



Obr. 4.2 – Nosník HEM [8]

## 5.5 Pohon

Pohon je tvořen vodícím šroubem a maticí. Šroub je trapézový. Matice byla pro lepší pohybové vlastnosti navržena z bronzu. Její uchycení na suport je provedeno pomocí šroubu. Šroub je ocelový uložený v kuličkových ložiscích. Na straně u motoru je opatřen perem a přes šroubovací spojku připojen k motoru.



Obr. 4.3 – Bronzová matice [10]

## 5.6 Motor s převodovkou

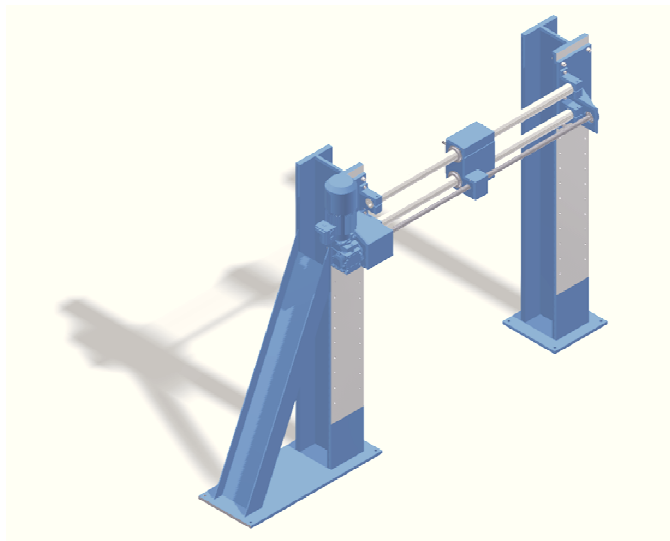
Motor s převodovkou je zvolen jako jeden celek. Tento celek plní funkci pohonné jednotky tvořené motorem s dostatečným výkonem a převodovkou zajišťující stálý výkon a boční výstup. Toto řešení umožňuje úsporu místa. Použitý motor s převodovkou bude od společnosti Siemens s.r.o.



*Obr. 4.4 – Motor s převodovkou různé typy [9]*

## 6 TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ

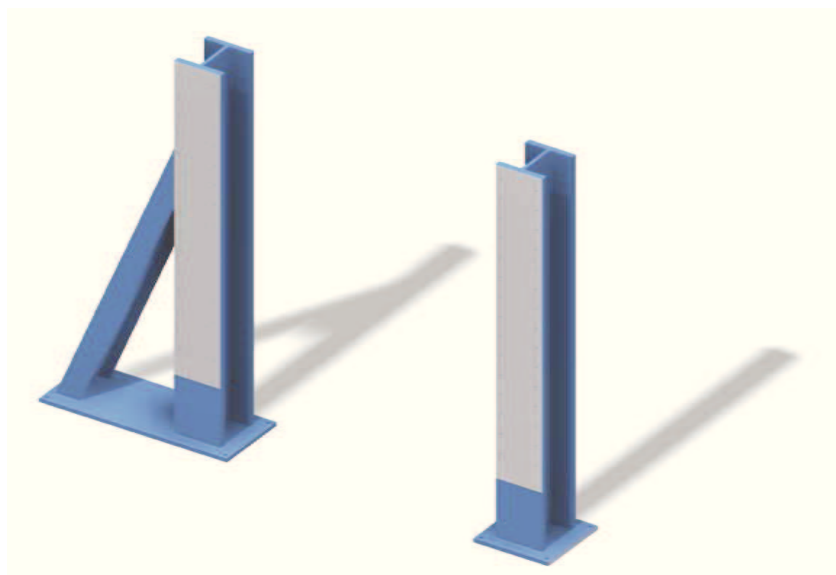
Mostový modul je tvořen rámem. Ten zajišťuje výškové umístění loží. Lože tvoří základnu pro uchycení ostatních dílů mostové části. Tyto části tvoří vodící tyče, pohybový šroub, motor s převodovkou, spojka. Na vodících tyčích je umístěn suport. Ten nese lícní desku pro uchycení zařízení.



*Obr. 5.1 – Mostový modul*

### 6.1 Rám

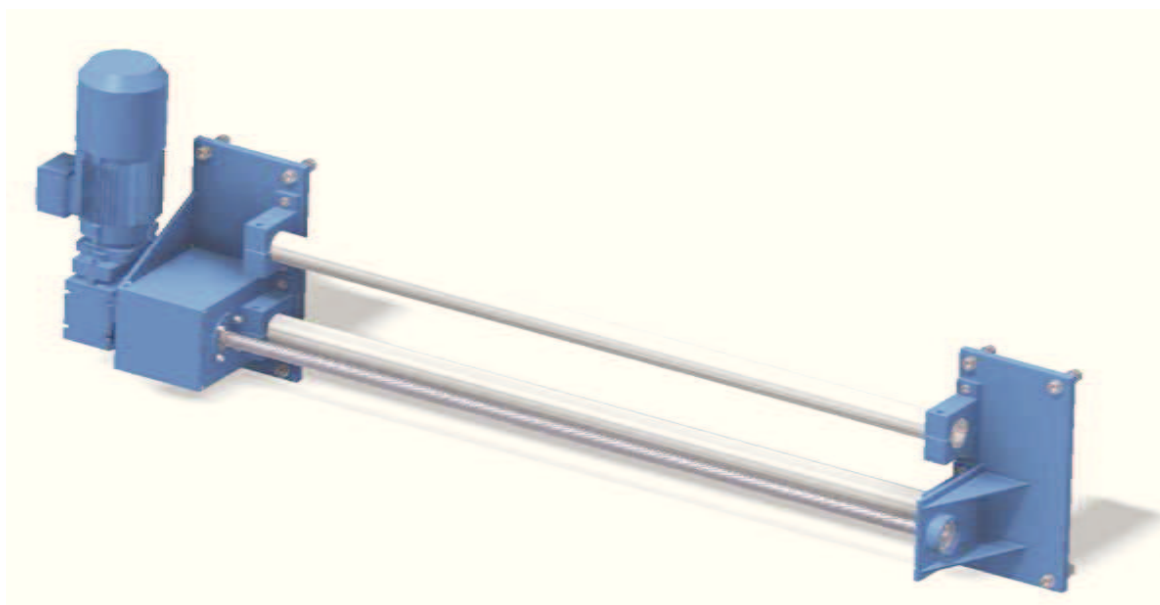
Rám tvoří dva svislé nosníky HEM. Do nosníku jsou navrtané díry v rozmezí 100 mm pro uchycení lože umožňující přesun mostu ve vertikálním směru. Celkový počet děr je 15 kusů tak, aby bylo možno nastavit světlost výšky od 500 mm až po 1500 mm. Nosník, na němž se zachytává axiální síla od pohybového šroubu, je nutno z pevnostních důvodů vyztužit podpěrou z IPE nosníku. Pro další navýšení tuhosti mají nosník i podpěra společnou základnu. Základny obou nosníků se na místě provozu upevňují pomocí kotvících šroubů.



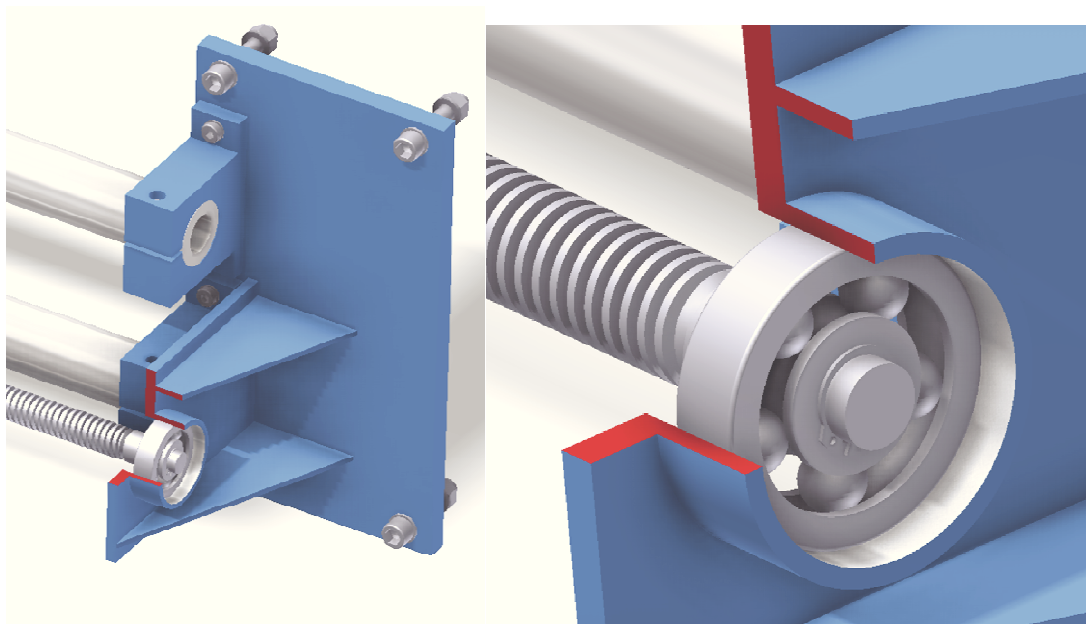
*Obr. 5.2 – Rám s žebrem i bez žebra*

## 6.2 Lože

Lože zastává funkci hlavního prvku. Tvoří jej dva celky propojené pomocí vodících tyčí v jediný celek. Společnými prvky jsou propojující vodící tyče umístěné v přišroubovaných domcích a pohybový šroub uložený v ložiscích. Ložiska jsou v ložích umístěna pevně a volně. Pevné uchycení je tvořeno na pohybovém šroubu tvarovým stykem a fixováním pomocí MK matice s MB podložkou, vnější uchycení je řešeno pomocí tvarového styku ve skříní a víka. Prostor mezi víkem a ložiskem je vymezen pomocí distančních kroužků. Toto uložení slouží pro zachycení axiální síly. Volné uložení je na vnitřním kroužku mezi osazením na pohybovém šroubu a pojistným kroužkem. Vnější kroužek je uchycen volně ve vedení lože.

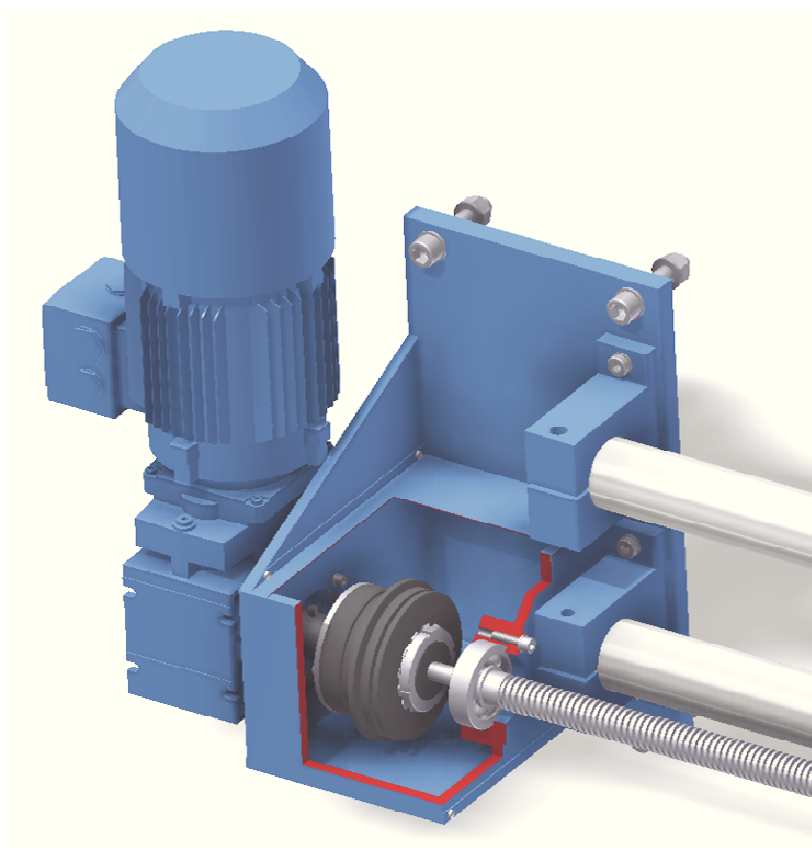


*Obr. 5.3 – Lože s vodícími tyčemi*

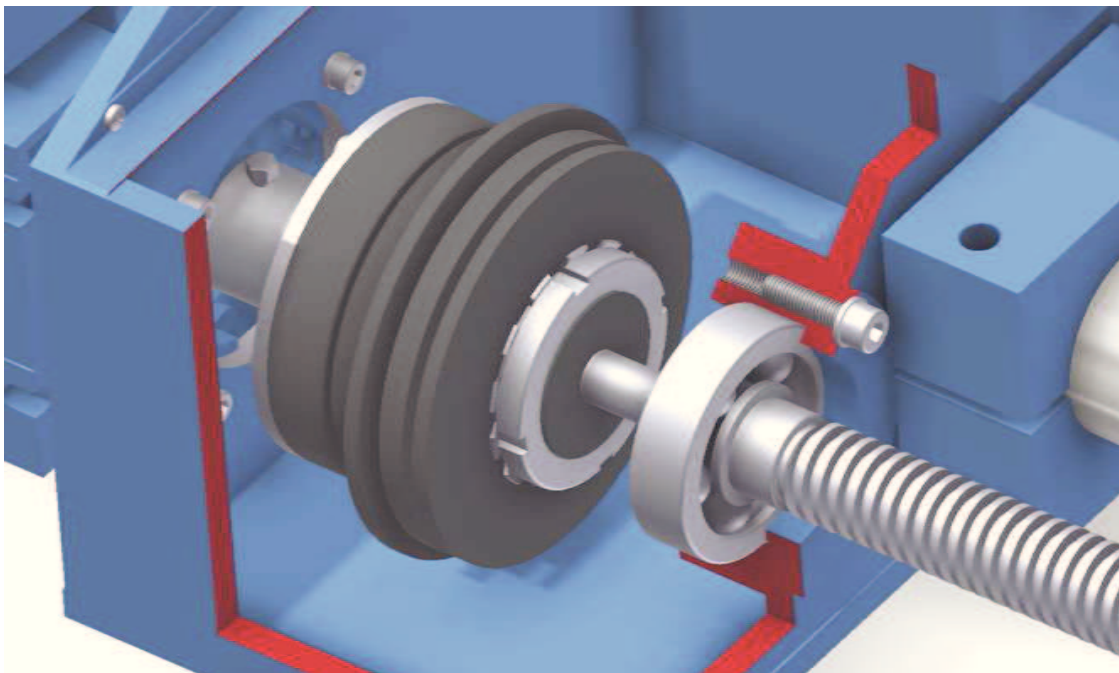


*Obr. 5.4 – Detail na volné uchycení ložiska v loži*

Skříň loží tvoří svařované desky. Na stejné lože kde je uchycen pevně vodící šroub je umístěn i pohon. Ten tvoří elektromotor s integrovanou převodovkou. Přenos momentu z hřídelů převodovky na pohybový šroub je zajištěn pomocí těsných per. Propojení a jištění proti přetížení obstarává spojka s přišroubovanou přírubou. Volné prostory jsou zakryty z bezpečnostních důvodů pomocí přišroubovaných plechů.



*Obr. 5.5 – Provedení lože pro zachycení axiálních sil*

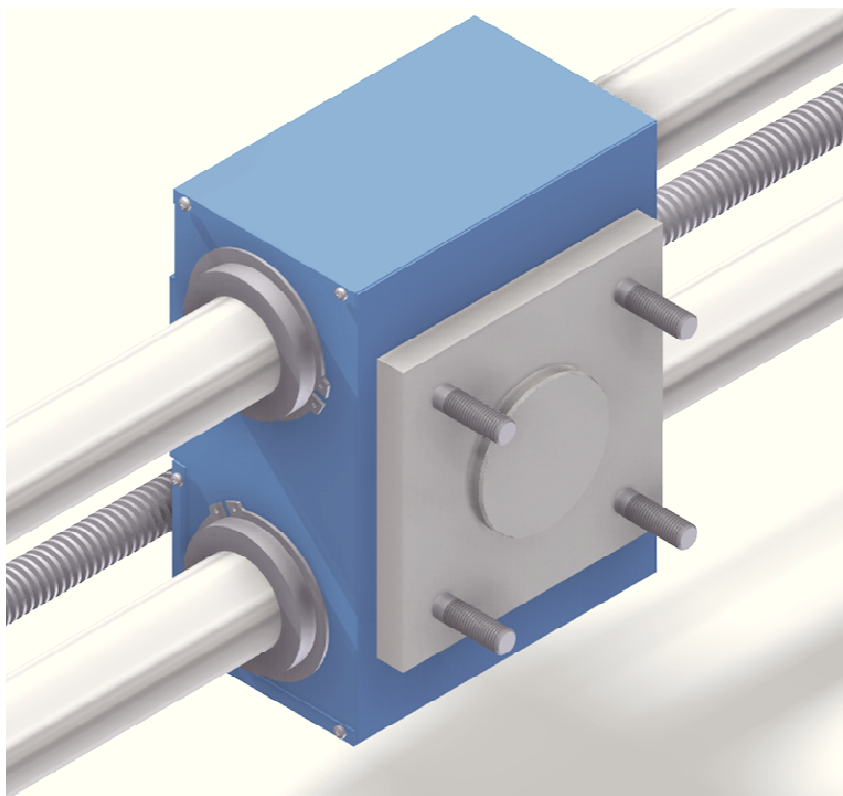


*Obr. 5.6 – Detail na pevné uložení ložiska v skříni lože*

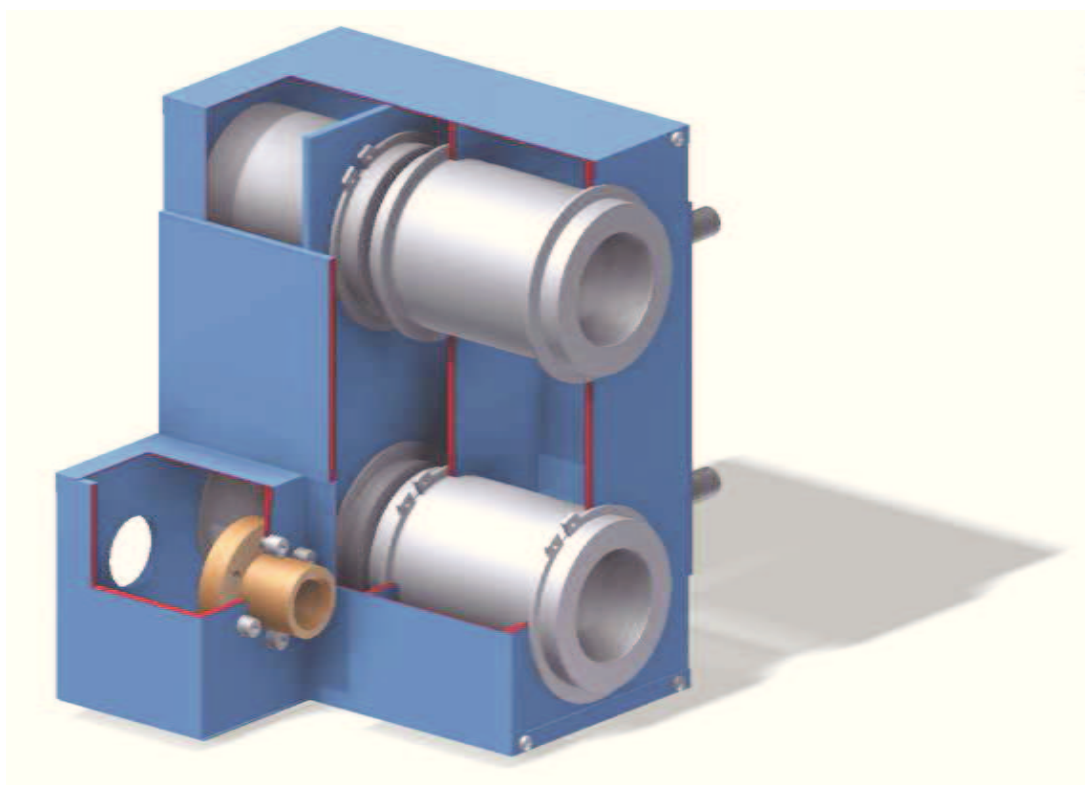
### 6.3 Suport

Skříň suportu je tvořena ze svařovaných plechů. Největší z nich tvoří zároveň přírubu. Příruba je tvořena deskou o rozměrech 200 mm x 200 mm. Pro přesné uchycení zařízení je příruba osazena vodícím válcem o průměru 100 mm a čtyřmi závrtnými šrouby. Do skříně suportu jsou dále vložena čtyři kuličková pouzdra, zajišťující pohyb po vodnicích tyčích. Pohon suportu obstarává přišroubovaná matice. Pro dosažení lepší třecích vlastností je použita matice vyrobená z bronzu. Volné prostory jsou opět zakryty pomocí přišroubovaných plechů.





*Obr. 5.7 – Suport s přírubou, vodícím válcem, a závrtnými šrouby*



*Obr. 5.8 – Suport*



## 7 PEVNOSTNÍ VÝPOČTY

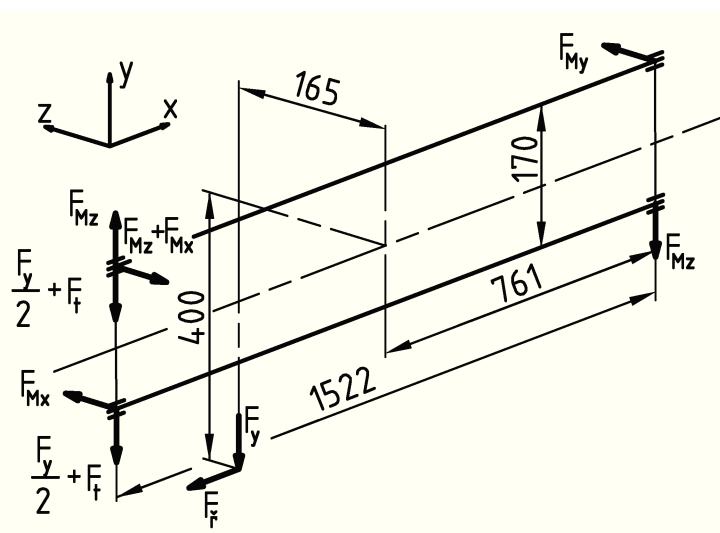
Jsou provedeny návrhové a kontrolní výpočty důležitých součástí zařízení. Ty jsou kontrolovány na pevnost a tuhost, aby zařízení dosahovalo dostatečné přesnosti. Rozměry a parametry pro výpočty byly stanoveny dle předběžného návrhu a poté upřesněny dle konečných hodnot.

### 7.1 Návrh vodících tyčí

Vodící tyče byly zvoleny dle pevnostní kontroly. Následně byla provedena kontrola na průhyb. Ten má zásadní dopad na přesnost zařízení. Vodící tyče mají průhyby v osách  $x$ ,  $y$ . Zatěžovány jsou hmotností excentrického zatížení dle zadání  $m_z = 30 \text{ kg}$ , hmotností suptu  $m_{sup} = 20 \text{ kg}$  a silou, kterou je potřeba vyvinout pro pohyb suptu.

#### Výpočet zatěžující síly

Síla je rozdělena na dvě tyče. Je tvořena hmotností suptu a maximální hmotností závaží. Pro zjednodušení působí obě její části ve stejném bodě. Tato excentricita je dána zadanou hodnotu a zvětšena o hodnotu posunutí danou vzdáleností lící desky suptu od osy. Síla pro pohyb je zadána v místě působení. Tedy v místě kde bude odtlačován případný obráběcí prvek od materiálu. Průhyby byly spočítány dle vzorců od výrobce tyčí [7]. Síla nutná pro pohyb suptu byla stanovena jako  $F_f = 3500 \text{ N}$ .



Obr. 6.1 – Schéma zatížení sil nosníku a jejich účinek do podpor

Zatěžující síla na jednu tyč

$$F_y = \frac{(m_z + m_{sup}) \cdot 9,81}{n_t} = \frac{(30 + 20) \cdot 9,81}{2} = 246 \text{ N} \quad (6.1)$$

Ohybový moment v ose x

$$M_x = 2 \cdot F_y \cdot 165 = 2 \cdot 246 \cdot 165 = 81180 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (6.2)$$

Ohybový moment v ose z od síly  $F_y$

$$M_z = 2 \cdot F_y \cdot 761 = 2 \cdot 246 \cdot 761 = 374412 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (6.3)$$

Ohybový moment v ose y

$$M_y = F_{\check{r}} \cdot 165 = 3500 \cdot 165 = 577500 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (6.4)$$

Ohybový moment v ose z od síly  $F_{\check{r}}$

$$M_{z\check{r}} = F_{\check{r}} \cdot 400 = 3500 \cdot 400 = 1400000 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (6.5)$$

Síla v loži v ose z od momentu  $M_x$

$$F_{Mx} = \frac{M_x}{b_{170}} = \frac{81180}{170} = 477 \text{ N} \quad (6.6)$$

Síla v loži v ose z od momentu  $M_{z\check{r}}$

$$F_{Mz} = \frac{M_{z\check{r}}}{1522} = \frac{1400000}{1522} = 919 \text{ N} \quad (6.7)$$

Síla v loži v ose y od momentu  $M_y$

$$F_{My} = \frac{M_y}{1522} = \frac{577500}{1522} = 379 \text{ N} \quad (6.8)$$

Návrhový průměr od síly v ose y. Tyč je z materiálu Cf 53, 1.1213 kde  $R_e = 325 \text{ MPa}$

$$D_y = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_y \cdot 1522}{\pi \cdot R_e \cdot 2}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 246 \cdot 1522}{\pi \cdot 325 \cdot 2}} = 18,03 \text{ mm} \quad (6.9)$$

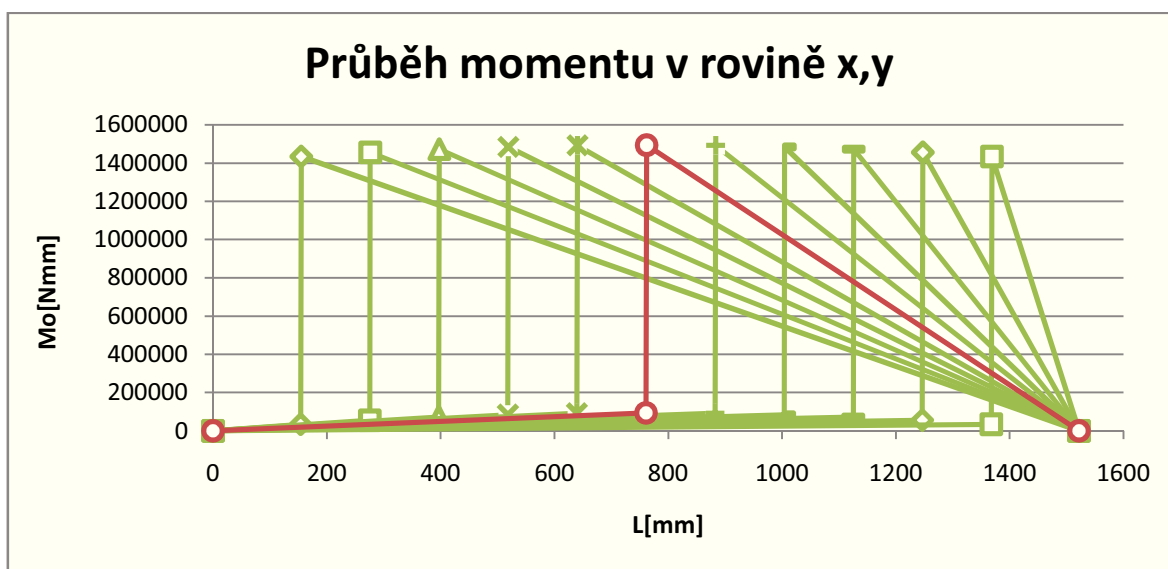
Návrhový průměr od síly v ose x

$$D_x = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_{Mx} \cdot 1780}{\pi \cdot R_e \cdot 2}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 479 \cdot 1522}{\pi \cdot 325 \cdot 2}} = 22,5 \text{ mm} \quad (6.10)$$

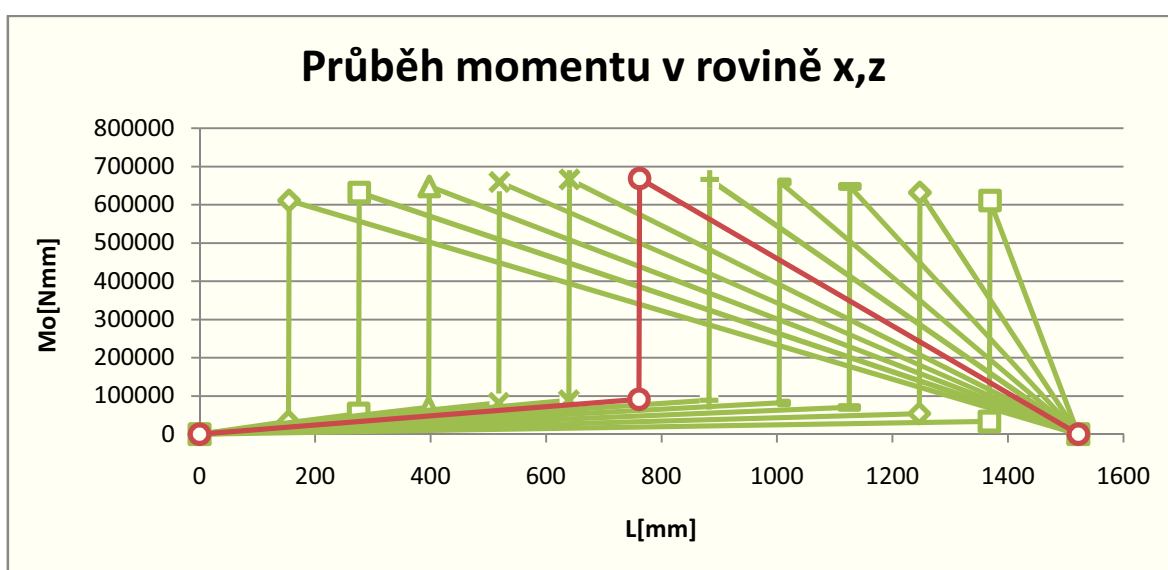
Volím z katalogu firmy T.E.A. TECHNIK s.r.o. [7] tyče s rozměry  $D=60 \text{ mm}$ ,  $d=36 \text{ mm}$ . Pro jejich dostatečnou tuhost dle kontroly provedené níže.

### Pevnostní kontrola navrhnuté vodící tyče

Kontroluji horní tyč, protože jsem ji zvolil jako nositelku většiny zatížení.



Graf 6.1 – Průběh ohybových momentu v rovině x, y



Graf 6.2 – Průběh ohybových momentu v rovině x, z

Moment v maximu v rovině x, y.

$$\begin{aligned} M_{-xy} &= A_{yt} \cdot 890 = 123 \cdot 761 = 93603 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ M_{xy+} &= A_{yt} \cdot 890 + M_{zř} = 123 \cdot 761 + 1400000 = 1493603 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned} \quad (6.11)$$

Moment v maximu v rovině x,z.

$$\begin{aligned} M_{-xz} &= A_{zt} \cdot 890 = 119 \cdot 761 = 90559 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ M_{xz+} &= A_{zt} \cdot 890 + M_{zř} = 119 \cdot 890 + 577500 = 668059 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned} \quad (6.11)$$

Napětí v ose y

$$\sigma_y = \frac{32 \cdot M_{xy+}}{\pi \cdot (D^3 - d^3)} = \frac{32 \cdot 1493603}{\pi \cdot (60^3 - 36^3)} = 89,9 \text{ MPa} \quad (6.12)$$

Napětí v ose z

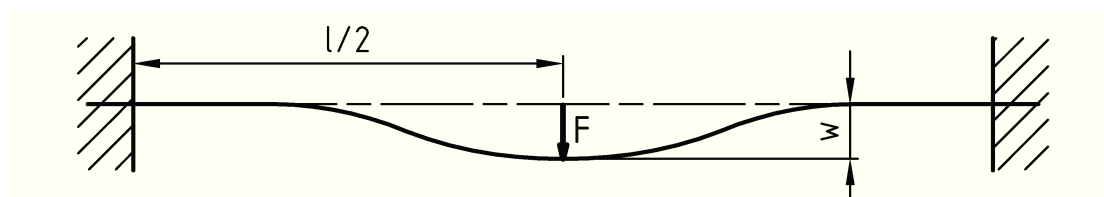
$$\sigma_z = \frac{32 \cdot M_{xz+}}{\pi \cdot (D^3 - d^3)} = \frac{32 \cdot 668059}{\pi \cdot (60^3 - 36^3)} = 40,9 \text{ MPa} \quad (6.13)$$

Redukované napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_z^2} = \sqrt{89,9^2 + 40,9^2} = 98,8 \text{ MPa} \quad (6.14)$$

Koeficient bezpečnosti

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{325}{98,8} = 3,29 - \quad (6.15)$$



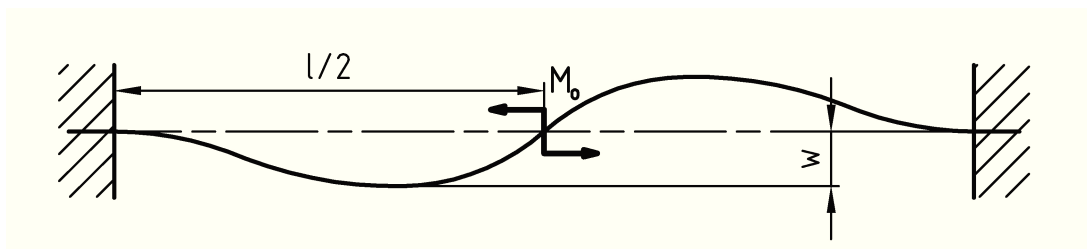
Obr. 6.2 – Schéma pro výpočet průhybu od síly [7]

Průhyb v ose y

$$\begin{aligned} w_{yF} &= (m_z + m_{sup}) \cdot C \cdot L^3 = (30 + 20) \cdot 1,75 \cdot 10^{-13} \cdot 1522^3 \\ &= 0,031 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6.16)$$

Průhyb v ose z

$$w_{zF} = \frac{F_{Mx}}{9,81} \cdot C \cdot L^3 = \frac{479}{9,81} \cdot 1,75 \cdot 10^{-13} \cdot 1522^3 = 0,03 \text{ mm} \quad (6.17)$$



Obr. 6.3 – Schéma pro výpočet průhybu od momentu [7]

Průhyb v ose y

$$w_{yMo} = \frac{2}{9} \cdot M_{zř} \cdot C \cdot L^2 = \frac{2}{9} \cdot 1400000 \cdot 1,75 \cdot 10^{-13} \cdot 1522^2 = 0,126 \text{ mm} \quad (6.18)$$

Průhyb v ose z

$$w_{zMo} = \frac{2}{9} \cdot M_{zy} \cdot C \cdot L^2 = \frac{2}{9} \cdot 577500 \cdot 1,75 \cdot 10^{-13} \cdot 1522^2 = 0,05 \text{ mm} \quad (6.19)$$

Tyč dosahuje dostatečně nízkého průhybu pro univerzální zařízení.

## 7.2 Kontrolní výpočet pohybového šroubu

Kontrolní výpočet je proveden pro navrhnutý šroub Tr 30x6. Ten je namáhán silou potřebnou pro posunutí suportu a silou potřebnou pro posun upevněného zařízení. Tyto síly společně tvoří odhadnutou sílu  $F_F$ . Rozměrové hodnoty šroubu  $d = 30 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 27 \text{ mm}$ ,  $d_3 = 23 \text{ mm}$ ,  $P = 6 \text{ mm}$ ,  $d_1 = 24 \text{ mm}$ . Šroub je vyroben z materiálu 11 500, kde  $R_e = 270 \text{ MPa}$  [12].

Stanovení úhlu stoupání navrženého jednochodého lichoběžníkového závitu

$$\gamma = \arctg \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{6}{\pi \cdot 27} = 4,04^\circ \quad (6.20)$$

Stanovení třecího redukovaného úhlu

$$\varphi' = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,15}{\cos \frac{30}{2}} = 8,83^\circ \quad (6.21)$$

### **Pevnostní kontrola**

Šroub je kontrolován na namáhání v tlaku a krutu, poté je z důvodu značné volné délky ještě provedena kontrola na přenesenou sílu ze vzpěru.

Napětí namáhání v tlaku

$$\sigma_{ds} = \frac{F_{\check{r}}}{A_s} = \frac{F_{\check{r}}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{3500}{\frac{\pi \cdot 23^2}{4}} = 8,4 \text{ MPa} \quad (6.22)$$

Třecí moment na závitu

$$\begin{aligned} M_{TZ} &= F_{\check{r}} \cdot tg(\gamma + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} = 3500 \cdot tg(4,23 + 8,83) \cdot \frac{23}{2} \\ &= 10799 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned} \quad (6.23)$$

Napětí namáhání v krutu

$$\tau_s = \frac{M_{TZ}}{W} = \frac{M_{TZ}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{10799}{\frac{\pi \cdot 23^3}{16}} = 4,5 \text{ MPa} \quad (6.24)$$

Redukované namáhání šroubu

$$\sigma_{redS} = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_s^2} = \sqrt{8,4^2 + 4 \cdot (4,5^2)} = 12,36 \text{ MPa} \quad (6.25)$$

Bezpečnostní součinitel šroubu

$$k_s = \frac{R_{eS}}{\sigma_{redS}} = \frac{270}{12,36} = 21,85 - \quad (6.26)$$

Maximální přenášená síla šroubem od povoleného vzpěrného zatížení. Hodnota  $l_s = 1820 \text{ mm}$  byla určena dle návrhového modelu.

Maximální vzpěrná síla přenášená šroubem

$$F_{\check{r}} \leq \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{n \cdot l_s^2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d_3^4}{64}}{n \cdot l_s^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 23^4}{64}}{2 \cdot 1522^2} = 6145 \text{ N} \quad (6.27)$$

Šroub vyhověl. Volím závitovou tyč TR30x6 pro pohon suportu.

### Návrh výšky matice pro přenesení požadované síly.

Výška závitu

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} = \frac{30 - 24}{2} = 3 \text{ mm} \quad (6.28)$$

Počet závitů nutných pro splnění tlakové podmínky. Hodnota  $p_d = 15 \text{ MPa}$  byla zvolena dle vysokoškolské příručky pro výpočet šroubového zvedáku [11].

$$z \geq \frac{F_{\check{r}}}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_D} = \frac{3500}{\pi \cdot 27 \cdot 3 \cdot 15} = 0,9 - \quad (6.29)$$

Minimální výška matice

$$h_m = z \cdot P = 3 \cdot 6 = 18 \text{ mm} \quad (6.30)$$

Volím tedy matici Kr 30 od firmy Valenta ZT s.r.o. [10]. Matice má délku závitu 46 mm, tudíž splňuje podmínku minimální délky 18 mm.

### Výpočet účinnosti šroubu pro navržení výkonu motoru.

Třecí průměr

$$D_T = \frac{d}{2} = \frac{36}{2} = 18 \text{ mm} \quad (6.31)$$

Třecí moment

$$M_T = \frac{F_{\check{r}}}{2} \cdot f \cdot D_T = \frac{3500}{2} \cdot 0,15 \cdot 18 = 3938 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (6.32)$$

Celkový točivý moment přenášený šroubem

$$M_s = M_{TZ} + M_T = 10799 + 3938 = 14737 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (6.33)$$

Účinnost pohybového šroubu

$$\eta_s = \frac{F_f \cdot P}{M_s \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{F_f \cdot d_2 \cdot \operatorname{tg} \gamma}{M_s \cdot 2} = \frac{3500 \cdot 27 \cdot \operatorname{tg} 4,23}{14737 \cdot 2} = 0,237 \quad (6.34)$$

### 7.3 Návrh motoru

Navrhuji motor s dostatečným výkonem pro pohon zařízení. Na výstupu z připojené převodovky by měl poskytovat větší točivý moment než je požadovaný točivý moment pro pohon šroubu.

Celková účinnost pohonu

$$\eta_c = \eta_s \cdot \eta_{loz} = 0,237 \cdot 0,98 = 0,232 \quad (6.35)$$

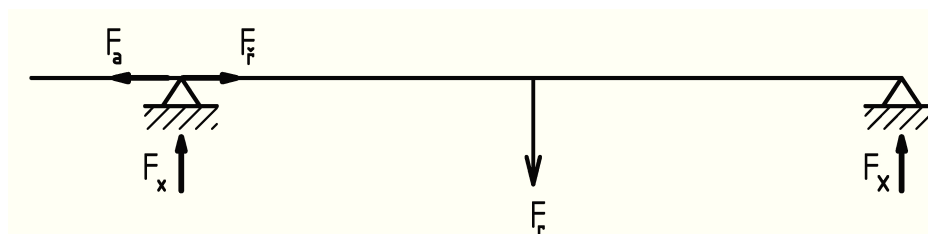
Potřebný výkon pro pohon

$$P = \frac{F_f \cdot v}{\eta_c} = \frac{3500 \cdot 0,036}{0,232} = 543 \text{ W} \quad (6.36)$$

Volím kuželočelní elektropřevodovku B28-LA90S4-L8N od firmy Siemens s.r.o. [9] s výkonem 1,1 kW. Proti přetížení je zařízení jištěno kuličkovou spojkou SKU 4 od společnosti PSP Pohony a.s.

### 7.4 Kontrola ložisek pro uchycení pohybového šroubu

Kontrola ložisek tak aby jejich životnost splňovala podmínku běžných provozních hodin zařízení je prováděno pomocí online výpočtu společnosti SKF [13].



Obr. 6.4 – Síly na šroubu

Hodnoty vkládané do výpočtu SKF byly hmotnost tyče  $F_r = 132 \text{ N}$  a síla potřebná k překonání odporové síly od závěsného zařízení  $F_a = 3500 \text{ N}$ . Výstupní otáčky z převodovky  $361 \text{ min}^{-1}$ , provozní čistota oleje nastavena pro otevřené ložisko z možností



vnikání nečistot  $a_{skf} = 0,823$  - a potřebná viskozita oleje určena dle grafu z průměru ložiska a provozních otáček jako  $40 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$ ,  $\kappa = 2,68$  -.

Bearing life: 6404/ W64
—

Remove this result

**Results**

<b><math>L_{10mh}</math></b>	12400 hour
SKF rating life, operating hours	
<b><math>a_{SKF}</math></b>	0.823
SKF life modification factor $a_{SKF}$	
<b>P</b>	4.46 kN
Equivalent dynamic bearing load	
<b><math>\kappa</math></b>	2.68
Viscosity ratio	
<b><math>\eta_c</math></b>	0.135
Factor for contamination level	
<b><math>v_1</math></b>	42.4 $\text{mm}^2/\text{s}$
Required kinematic viscosity for $\kappa=1$	
<b><math>L_{10h}</math></b>	15100 hour
Basic rating life, operating hours	
<b>C/P</b>	6.88
Load ratio	

**Input parameters**

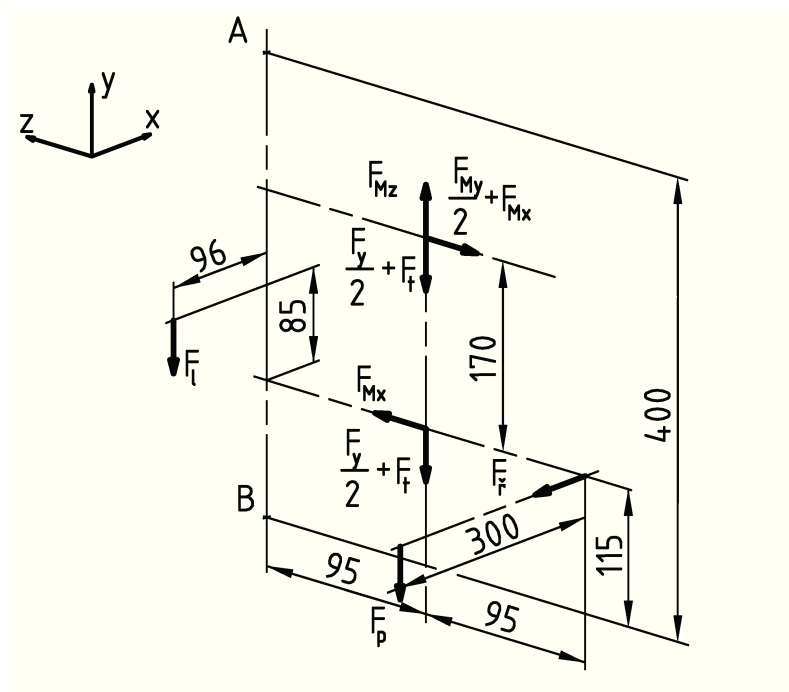
<b><math>F_r</math></b>	0.132 kN
Radial load	
<b><math>F_a</math></b>	3.5 kN
Axial load on bearing	
<b><math>n_i</math></b>	361 r/min
Rotational speed of inner ring	
<b>Bearing operating temperature</b>	20 °C
Bearing outerring	
<b>Lubricant type and cleanliness</b>	Slight-typical contamination (open bearing/light dirt ingress)
Select from list	
<b>Viscosity calculation input type</b>	Viscosity input at 40°C (VI is 95)
Select from list	
<b>Viscosity at 40°C</b>	40 $\text{mm}^2/\text{s}$

Obr. 6.5 – Výpočet ložisek dle SKF [13]

Pro běžná zařízení se hodnota pohybuje od 5000 *hod* až-10000 *hod*. Navrhnuté ložisko 6404/W64 SKF [13], tedy vyhovuje pro běžný provoz zařízení.

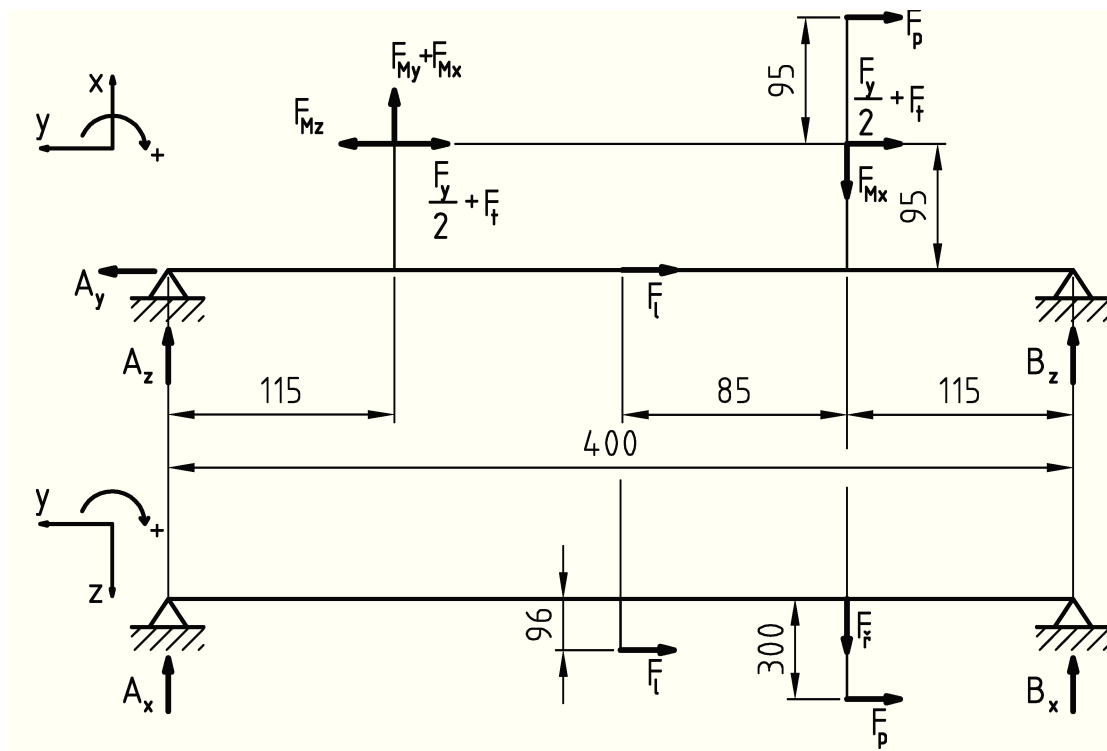
## 7.5 Výpočet sil na šroubech a jejich návrh a kontrola pro ukotvení lože.

Šrouby musí vytvořit dostatečnou třecí sílu pro udržení hmotnosti zařízení a pro zachycení momentových sil od zatěžujících sil. Axiální sílu zachycuje ložisko jen na jedné straně šroubu.



Obr. 6.6 – Prostorové schéma zatěžujících sil pro výpočet šroubu

Rozdělení dle os.



Obr. 6.7 – Schéma rozdělení sil do jednotlivých výpočtových rovin.

Síla od hmotnosti tyče na jeden úchyt. Hmotnost tyče  $m_t$  a lože  $m_l$  byla určena pomocí programu Autodesk Inventor [14]. Hmotnost motoru je přímo i převodovkou udávána v technických specifikacích společnosti siemens  $m_p = 19 \text{ kg}$ . Další síly byly už vypočteny v bodě.

Síla od hmotnosti tyče na jednu podpěru

$$F_t = \frac{m_t}{2} \cdot 9,81 = \frac{22,2}{2} \cdot 9,81 = 110 \text{ N} \quad (6.37)$$

Síla od hmotnosti těžšího lože

$$F_l = m_l \cdot 9,81 = 31,3 \cdot 9,81 = 307 \text{ N} \quad (6.38)$$

Síla od hmotnosti motoru

$$F_p = m_p \cdot 9,81 = 19 \cdot 9,81 = 187 \text{ N} \quad (6.39)$$

Síly v podpoře A.

$$0 = A_y + F_{Mz} - \left(\frac{F_y}{2} + F_t\right) - F_l - \left(\frac{F_y}{2} + F_t\right) - F_p \quad (6.40)$$

$$A_y = -F_{Mz} + 2 \cdot \left(\frac{F_y}{2} + F_t\right) + F_l + F_p =$$

$$= -919 + 2 \cdot \left( \frac{246}{2} + 110 \right) + 307 + 187 = 41 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_B: & 2 \cdot \left( \frac{F_y}{2} + F_t \right) \cdot 95 + F_p \cdot 190 - F_{Mx} \cdot 115 + (F_{My} + F_{Mx}) \cdot 285 - F_{Mz} \cdot 95 \\ & + A_z \cdot 400 = 0 \\ A_z = & \frac{-2 \cdot \left( \frac{F_y}{2} + F_t \right) \cdot 95 - F_p \cdot 190 + F_{Mx} \cdot 115 - (F_{My} + F_{Mx}) \cdot 285 + F_{Mz} \cdot 95}{400} \end{aligned} \quad (6.41)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{-2 \cdot \left( \frac{246}{2} + 110 \right) \cdot 95 - 187 \cdot 190 + 478 \cdot 115 - (379 + 478) \cdot 285 + 919 \cdot 95}{400} \\ &= -454 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B: & -F_{\check{r}} \cdot 115 - F_p \cdot 300 - F_l \cdot 96 + A_x \cdot 400 = 0 \\ A_x = & \frac{+F_{\check{r}} \cdot 115 + F_p \cdot 300 + F_l \cdot 96}{400} = \frac{3500 \cdot 115 + 187 \cdot 300 + 307 \cdot 96}{400} = \\ &= 1220 \text{ N} \end{aligned} \quad (6.42)$$

Síly v podpoře B

$$\begin{aligned} M_A: & -F_{Mz} \cdot 95 + 2 \cdot \left( \frac{F_y}{2} + F_t \right) \cdot 95 - (F_{My} + F_{Mx}) \cdot 115 + F_{Mx} \cdot 285 + F_p \cdot 190 \\ & - B_z \cdot 400 = 0 \\ B_z = & \frac{-F_{Mz} \cdot 95 + 2 \cdot \left( \frac{F_y}{2} + F_t \right) \cdot 95 - (F_{My} + F_{Mx}) \cdot 115 + F_{Mx} \cdot 285 + F_p \cdot 190}{400} \end{aligned} \quad (6.42)$$
$$\begin{aligned} &= \frac{-919 \cdot 95 + 2 \cdot \left( \frac{246}{2} + 110 \right) \cdot 95 - (379 + 478) \cdot 115 + 478 \cdot 285 + 187 \cdot 190}{400} \\ &= 75 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_A: & -F_l \cdot 96 - F_p \cdot 300 + F_{\check{r}} \cdot 285 - B_x \cdot 400 = 0 \\ B_x = & \frac{-F_l \cdot 96 - F_p \cdot 300 + F_{\check{r}} \cdot 285}{400} = \frac{-307 \cdot 96 - 187 \cdot 300 + 3500 \cdot 285}{400} = \\ &= 2280 \text{ N} \end{aligned} \quad (6.43)$$

Výsledná síla pro přenesení třením v bodě A

---

$$A_{xy} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} = \sqrt{1220^2 + 41^2} = 1221 \text{ N} \quad (6.44)$$

Výsledná síla pro přenesení třením v bodě B

$$B_{xy} = B_x = 2280 \text{ N} \quad (6.45)$$

Volím pro výpočet šroubu větší sílu  $B_{xy}$  a k osově síle ve šroubu připočítávám sílu  $B_z$ .

Výpočet potřebné osově síly. Koeficient bezpečnosti volím  $k = 1,5$ . Třecí součinitel

$f_l = 0,15$  volím dle vysokoškolské příručky pro výpočet šroubu jako nemazané tření kov na kov [11].

$$F_{ol} = \frac{B_{xy} \cdot k_t}{f_l \cdot n_s} + B_z = \frac{2280 \cdot 1,5}{0,15 \cdot 2} + 75 = 11521 \text{ N} \quad (6.45)$$

Návrhový průměr  $d_{3n}$ . Šroub bude mít materiálové vlastnosti 5.8, tedy  $R_e = 400 \text{ MPa}$ .

$$d_{3n} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{ol}}{\pi \cdot R_e \cdot \beta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11521}{\pi \cdot 400 \cdot 1,3}} = 5,3 \text{ mm} \quad (6.46)$$

Z konstrukčních důvodů jsem zvolil šroub M16x2-5.8, kde  $d_1 = 13,835 \text{ mm}$ ,  $p_1 = 2 \text{ mm}$ ,  $d_{2l} = 14,701 \text{ mm}$ ,  $d_{3l} = 13,546 \text{ mm}$ ,  $d_{1l} = 13,835 \text{ mm}$  [12].

Stanovení úhlu stoupání navrženého závitu

$$\gamma_l = \arctg \frac{P_{hl}}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{2}{\pi \cdot 14,702} = 2,48^\circ \quad (6.47)$$

Stanovení třecího redukovaného úhlu [11].

$$\varphi'_l = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha_l}{2}} = \arctg \frac{0,15}{\cos \frac{60}{2}} = 9,82^\circ \quad (6.48)$$

## Pevnostní kontrola

Napětí namáhání v tlaku

$$\sigma_{dsl} = \frac{F_{ol}}{A_{sl}} = \frac{F_{ol}}{\frac{\pi \cdot d_{3l}^2}{4}} = \frac{11521}{\frac{\pi \cdot 13,546^2}{4}} = 79,9 \text{ MPa} \quad (6.49)$$

Třecí moment na závitu

$$\begin{aligned} M_{TZl} &= F_{ol} \cdot tg(\gamma_l + \varphi'_l) \cdot \frac{d_{2l}}{2} = 11521 \cdot tg(2,48 + 9,82) \cdot \frac{14,702}{2} = \\ &= 18466 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned} \quad (6.50)$$

Napětí namáhání v krutu

$$\tau_{sl} = \frac{M_{TZl}}{W_l} = \frac{M_{TZl}}{\frac{\pi \cdot d_{3l}^3}{16}} = \frac{18466}{\frac{\pi \cdot 13,546^3}{16}} = 37,8 \text{ MPa} \quad (6.51)$$

Redukované namáhání šroubu

$$\sigma_{redSl} = \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_s^2} = \sqrt{79,9^2 + 4 \cdot (37,8^2)} = 110 \text{ MPa} \quad (6.52)$$

Bezpečnostní součinitel šroubu

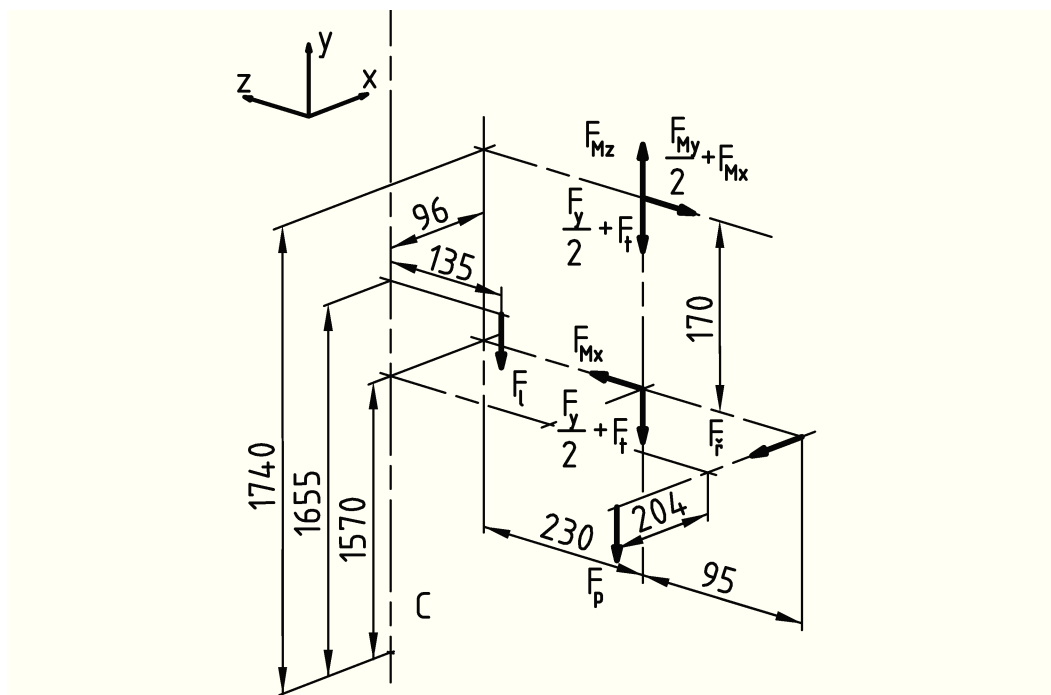
$$k_{sl} = \frac{R_{eS}}{\sigma_{redS}} = \frac{400}{110} = 3,63 - \quad (6.53)$$

Šroub tedy vyhovuje pro použití uchycení lože.

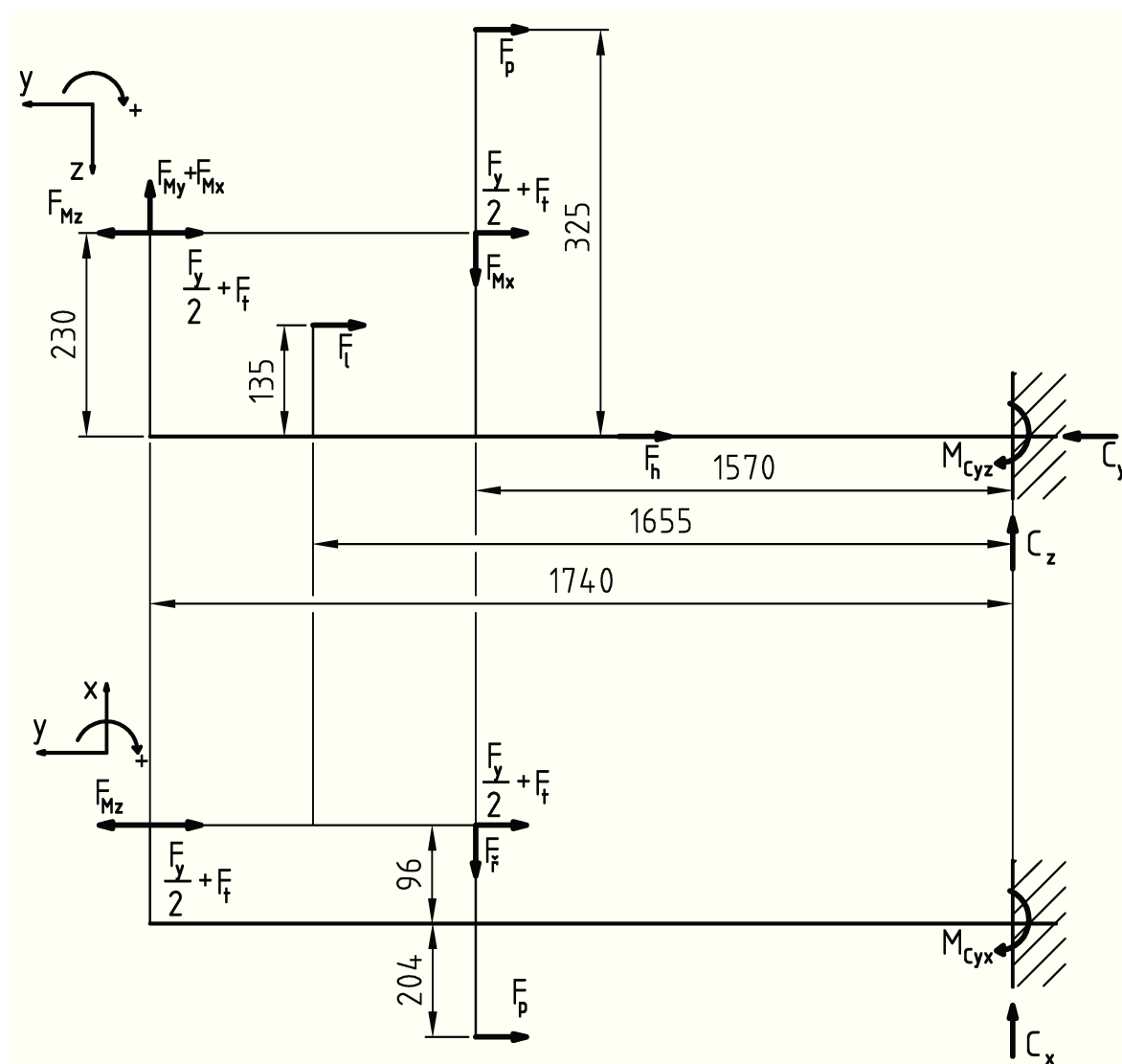
## 7.6 Výpočet zatěžujících sil na rám a MKP výpočet průhybu

Výpočet je proveden dle schématu ze zatěžujících sil. Ty jsou stejné jako pro šroub, který ukotvuje lože k rámu. Počítaným profil je profil HEM [8]

.



Obr. 6.8 – Prostorové schéma rozložení zatěžujících sil vůči rámu.



Obr. 6.9 – Schéma rozdělení sil do jednotlivých výpočtových rovin.

Síla od hmotnosti HEM profilu. Hmotnost profilu byla určena pomocí programu Autodesk Inventor [14]  $m_h = 301\text{kg}$ . Ostatní síly byly vypočteny už v bodě.

$$F_h = m_h \cdot 9,81 = 301 \cdot 9,81 = 2953 \text{ N} \quad (6.54)$$

Výpočet sil v bodě C

$$\begin{aligned} 0 &= F_{Mz} - 2 \cdot \left( \frac{F_y}{2} + F_t \right) - F_l - F_p - F_h + C_y \\ C_y &= -F_{Mz} + 2 \cdot \left( \frac{F_y}{2} + F_t \right) + F_l + F_p + F_h = \\ &= -919 + 2 \cdot \left( \frac{246}{2} + 110 \right) + 307 + 187 + 2953 \\ &= 2994 \text{ N} \end{aligned} \quad (6.55)$$



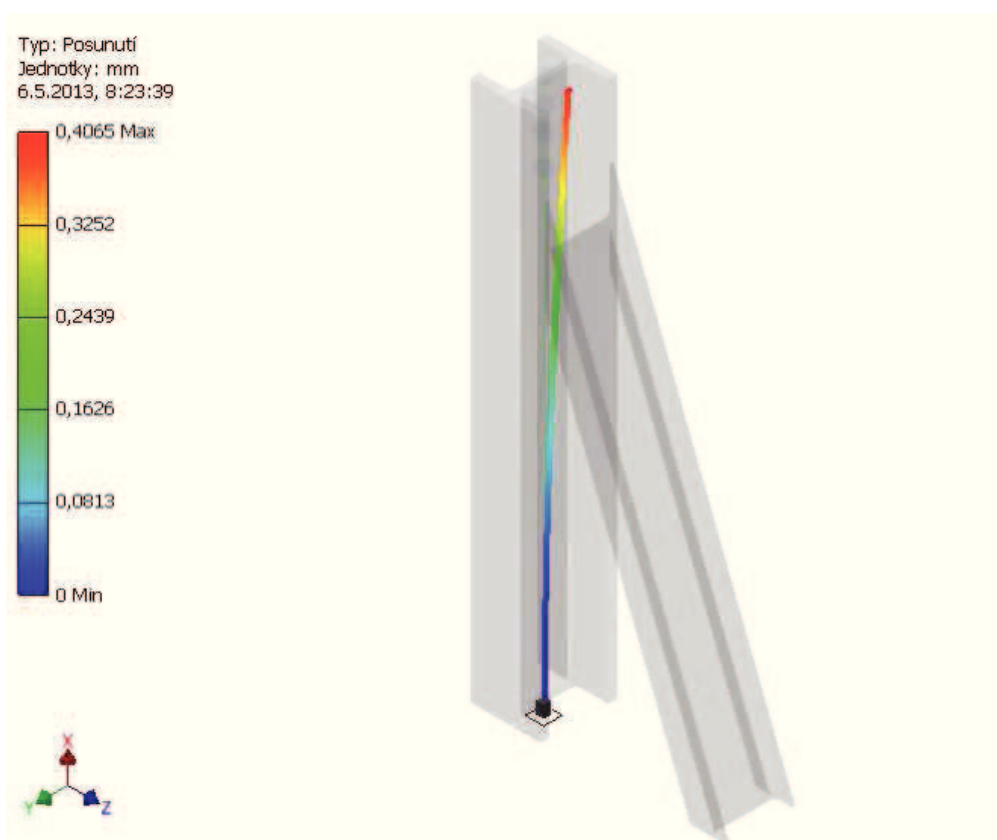
$$\begin{aligned}
M_{Cyz}: & -F_{Mz} \cdot 230 + 2 \cdot \left( \frac{F_y}{2} + F_t \right) \cdot 230 + (F_{My} + F_{Mx}) \cdot 1740 + F_l \cdot 135 \\
& -F_{Mx} \cdot 1570 + F_p \cdot 325 = \\
& = -919 \cdot 230 + 2 \cdot \left( \frac{246}{2} + 110 \right) \cdot 230 + (379 + 478) \cdot 1740 + 307 \cdot 135 \\
& -478 \cdot 1570 + 187 \cdot 325 = 1107213 \text{ N} \cdot \text{mm}
\end{aligned} \tag{6.56}$$

$$\begin{aligned}
0 & = -F_{My} - F_{Mx} \mp F_{Mx} - C_z \\
C_z & = -F_{My} - F_{Mx} \mp F_{Mx} = -689 - 476 + 476 = -689 \text{ N}
\end{aligned} \tag{6.57}$$

$$\begin{aligned}
M_{Cyx} & = -F_{Mz} \cdot 96 + 2 \cdot \left( \frac{F_y}{2} + F_t \right) \cdot 96 - F_{\tilde{r}} \cdot 1570 - F_p \cdot 204 = \\
& = -787 \cdot 96 + 2 \cdot \left( \frac{246}{2} + 110 \right) \cdot 96 - 3500 \cdot 1570 - 187 \cdot 204 \\
& = -5583080 \text{ N} \cdot \text{mm}
\end{aligned} \tag{6.58}$$

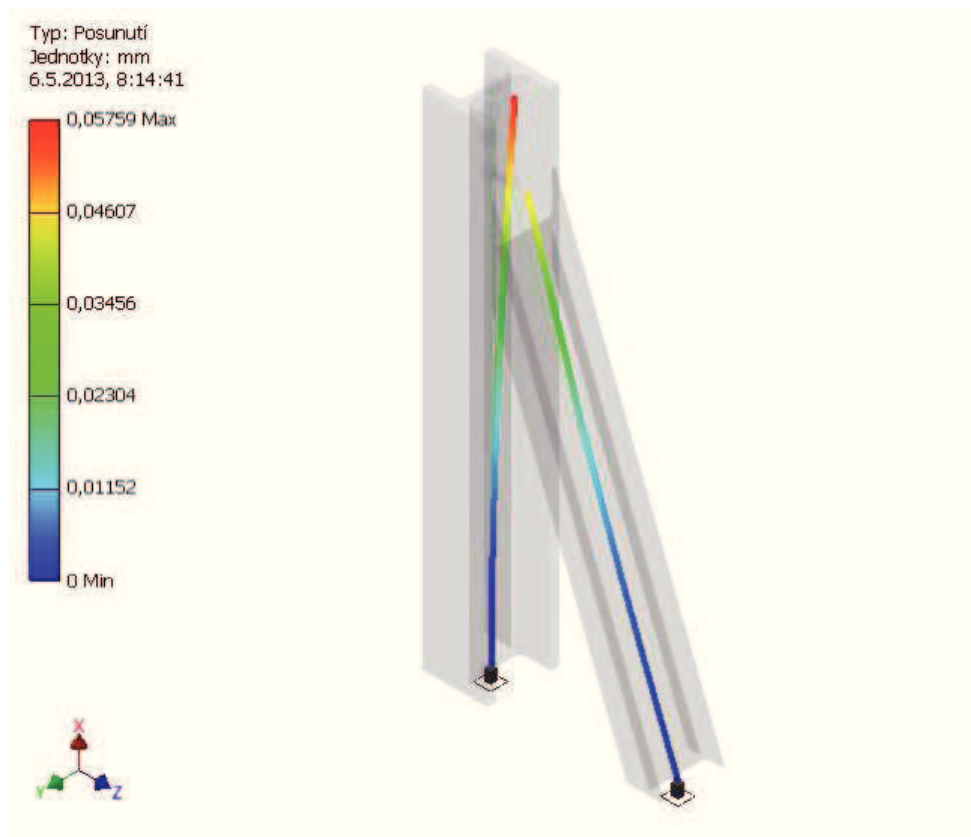
$$\begin{aligned}
0 & = -F_{\tilde{r}} + C_x \\
C_x & = F_{\tilde{r}} = 3500 \text{ N}
\end{aligned} \tag{6.59}$$

MKP [14] výpočet je proveden na nosníku HEM240 [8]. Jedna strana byla označena jako vetknuté uložení. A na druhý konec byly zaneseny síly dle schématu zatížení.



Obr. 6.10 – Průhyb rámu

Z výsledku je vidět že nosník HEM 240 [8] je nedostatečně tuhy. Proto bylo přistoupeno k úpravě za účelem zvýšení tuhosti. Tato úprava je realizována pomocí přidavného žebra tvořeného IPE 240 [8].



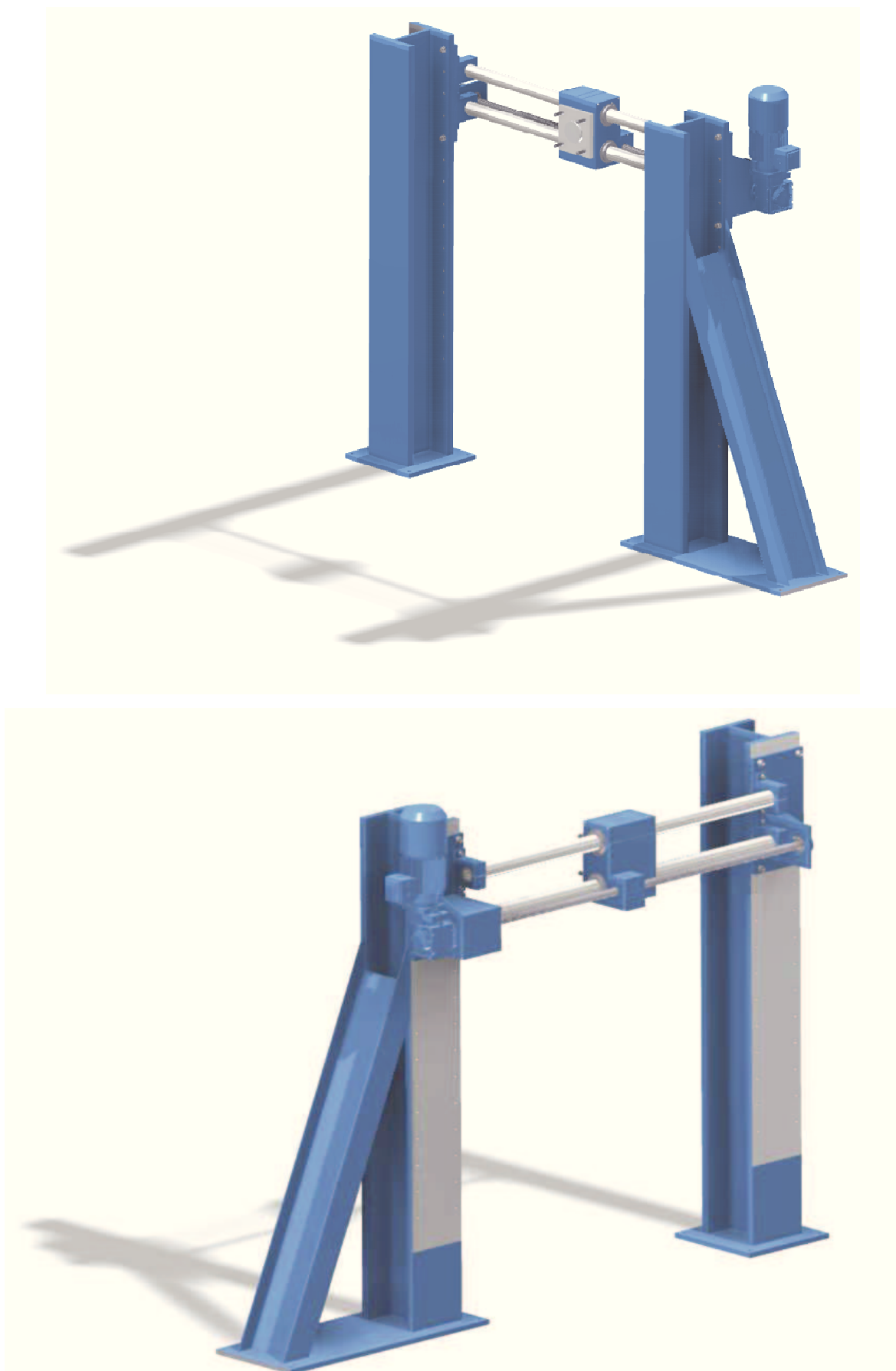
*Obr. 6.11 – Průhyb rámu*

## 8 ZÁVĚR

Dle zadání byl vyprojektován universální mostový modul. Ten tvoří dvě dostatečně tuhé vodící tyče umístěné v ložích na rámu. Délka těchto tyčí umožňuje pohyb suportu v délce 1200 mm. Změna výšky je zajištěna pomocí předvrtaných děr po 100 mm v požadovaném rozsahu světlé výšky suportu 500 mm až 1500 mm. Mostový modul byl navržen pro přídatné zařízení o hmotnosti 30 kg.

Pro zajištění pohybu suportu byl zvolen pohybový šroub poháněný elektromotorem s integrovanou převodovkou B28-LA90S4-L8N Siemens. Ten poskytuje dostatečný výkon 1,1 kW a maximální točivý moment 28 N · m. Proti rázům a poškození je zařízení jištěno kuličkovou spojkou SKU 4 PSP Pohony a.s. Axiální síly šroubu jsou zachyceny pomocí ložiska 6404/W64 SKF ve skříni lože. Důležité nosné prvky byly provedeny pevnostní výpočty.

Dle zadání dále byly vytvořeny výkres sestavení mostového modulu a výrobní výkres rámu. Všechny cíle práce byli splněni dle podmínek zadání.



*Obr. 7.1- Universální mostový modul*

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *PILART s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. CNC obráběcí centra. Dostupné z WWW: <<http://www.pilart.cz/produkt/SAHOS-SPRINT-430>>.
- [2] *KASPE a.s.* [online]. 2012 [cit. 2013-05-14]. Brusky na broušení boků. Dostupné z WWW: <<http://www.kaspe.cz/cz/brusky-na-kamen/brusky-na-brouseni-boku/kbbs160>>.
- [3] *Güdel AG* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Type EP: Selection by payload. Dostupné z WWW: <<http://www.gudel.com/modules/1-axis-type-ep>>.
- [4] *BOUDA COMMERCIO s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Type EP: Kotoučové pily na kámen - ACHILLI. Dostupné z WWW: <<http://www.boudacommercio.cz/mostova-kotoucova-pila-mbs-3000-0>>.
- [5] *Aroja s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. 3Dtiskárny. Dostupné z WWW: <<http://www.3dfactories.com/index.php/cz/virtuemart/3dtiskarny>>.
- [6] *NSP servis s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Soustruhy. Dostupné z WWW: <<http://www.rotwerk.eu/soustruhy/upinaci-sklicidla/>>.
- [7] *T.E.A. TECHNIK s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Katalog vodících tyčí. Dostupné z WWW: <<http://www.teatechnik.cz>>.
- [8] *Ferona* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Sortimentní katalog. Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog>>.
- [9] *Siemens s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Online konfigurátor. Dostupné z WWW: <<http://178.77.70.233/motox>>.
- [10] *Valenta ZT s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Závitové tyče. Dostupné z WWW: <<http://www.valentazt.cz/trapezove-matice.html>>.
- [11] VŠB - TECHNICKÁ UNIVERSITA OSTRAVA. Konstrukční návrh a výpočet ručního šroubového zvedáku: Vysokoškolská příručka. 2009. Dostupné z: <[http://www.347.vsb.cz/cz/soubory.asp?send=true&typ=predmet\\_25](http://www.347.vsb.cz/cz/soubory.asp?send=true&typ=predmet_25)>
- [12] LEINVERBER, J., VÁVRA, O. *Strojnické tabulky*. Albra – Pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2003., ISBN 90-86390-74-2
- [13] *SKF* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Online katalog. Dostupné z WWW: <<http://www.skf.com/group/knowledge-centre/engineering-tools>>.
- [14] Autodesk Education Community. Autodesk Inventor Professional 2012 student [program]. Verze x64. Dostupné z <[http://students.autodesk.com/?nd=download\\_center](http://students.autodesk.com/?nd=download_center)>. Požadavky na systém: PC Windows 7, XP (SP3); procesor 2 GHz; 1 GB RAM; 3,5 GB místa na disku.

## **10 SEZNAM PŘÍLOH**

Sestavný výkres	COU063 – 00
Výrobní výkres	COU063 – 00.02
CD-ROM s textem práce a výrobní dokumentací v zadaném rozsahu	